

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ

(повна назва інституту/факультету)

КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

(повна назва кафедри)


«На правах рукопису»

УДК: 614.842;

614.842.47

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 О.М.Лисенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 23 ” грудня 2020 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності (спеціалізації) 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

на тему: Система виявлення загоряння лісових масивів і раннього оповіщення

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ДК-91мп
(шифр групи)

Леонов Дмитро Владиславович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник: проф. Редько І.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант _____
(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент: доц. кафедри АМЕС доц., к.т.н. Трапезон К.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент 
(підпис)

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

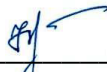
Інститут/факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - професійною програмою

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри


(підпис) Лисенко О.М.
(прізвище та ініціали)

« 04 » _____ 09 _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ
студенту Леонову Дмитру Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система виявлення загоряння лісових масивів і раннього оповіщення

науковий керівник дисертації: Редько Ігор Володимирович, професор,
(Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020 року № 3241-с

2. Термін подання студентом дисертації: 15 грудня 2020 року

3. Об'єкт дослідження: Система спостереження за лісовими пожежами

4. Предмет дослідження: методи підвищення якості та швидкості виявлення та попередження пожеж в лісових масивах та зменшення ціни таких спостережень

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Аналіз пожеж та їх причин 2. Огляд лісових пожеж у США 3. Аналіз систем виявлення пожеж 4. Аналіз світових рішень по боротьбі з пожежами 5. Вивчення побудови mesh-мережі 6. Розгляд технології LPWAN 7. Розробка системи моніторингу за лісовими масивами 8. Розробка

пристрою моніторингу 9. Написання програмного забезпечення

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація у форматі PowerPoint.

7. Орієнтовний перелік публікацій: публікацій немає, акт впровадження.

8. Консультанти розділів дисертації

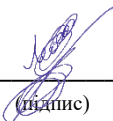
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання: 04.09.2020р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз пожеж та їх причин	04.09.20-15.09.20	Вик
2	Огляд лісових пожеж у світі	16.09.20-30.09.20	Вик
3	Аналіз систем виявлення пожеж	01.10.20-09.10.20	Вик
4	Аналіз світових рішень по боротьбі з пожежами	10.10.20-14.10.20	Вик
5	Дослідження побудови mesh-мережі	15.10.20-25.10.20	Вик
6	Розгляд та дослідження технології LPWAN	26.10.20-02.11.20	Вик
7	Розробка системи моніторингу за лісовими масивами	03.11.20-11.11.20	Вик
8	Розробка пристрою моніторингу	12.11.20-20.11.20	Вик
9	Написання програмного забезпечення	21.11.20-25.11.20	Вик
10	Оформлення дисертації	26.11.20-14.12.20	Вик

Студент


(підпис)

Леонов Д.В.

(прізвище, ініціали)

Науковий керівник дисертації



Редько І.В.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації (МД) становить 85 сторінок, які включають в себе 5 розділів, 16 ілюстрацій і 22 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

Ключові слова: mesh, RF, BLE, RSSI, CC1352R1.

Система спостереження за лісовими пожежами, що вчора була лише захоплюючою ідеєю, сьогодні отримала цілком чіткі обриси системи, основу якої складають тисячі різноманітних пристроїв для сканування навколишнього середовища та передачі даних. Проектування, розробка, впровадження та експлуатація таких систем перетворилося у важливий і актуальний напрямок прикладних дослідження. Важливим чинником тут стало те, що, технологія LPWAN, що дозволяє підтримувати моніторинг навколишнього середовища в режимі реального часу з низьким енергоспоживанням. Це суттєво зменшує вартість спостереження за такими важко доступними територіями, як лісові масиви.

Виходячи з того, що будь-яка лісова пожежа є надзвичайно небезпечним стихійним явищем, коли вогонь поширюється дуже швидко, вкрай важливою є задача організації не тільки моніторингу стану лісового масиву, а й, що є надважливим, профілактики пожежонебезпечних явищ.

Мета та завдання. Метою є створення на базі технології LPWAN та mesh-мереж системи профілактики та моніторингу пожежонебезпечних явищ, що матиме змогу розгортатися на великих площах лісових масивів.

Об'єкт та предмет роботи. Об'єктом виступає система передачі на базі технології LPWAN та mesh-мереж. Предметом виступає збільшення ефективності системи за рахунок методів передачі інформації з низьким енергоспоживанням, зменшення часу повідомлення про небезпеку пожежі та зменшення загальної вартості спостереження за лісовими масивами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження проводилися у рамках НДР "Модель редуційного середовища програмування" № реєстрації в НДІЕМСТ КПІ ім. Ігоря Сікорського - ДР № 0120U101752

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна підтверджена наявністю в МД отриманих результатів, графіків, які доводять працездатність системи та впливу полум'я на температуру, вологість та освітлення. Використання існуючих технологій LPWAN зменшує енергоживлення системи та швидкість передачі інформації.

ABSTRACT

The volume of the explanatory note of the master's dissertation (MD) is 96 pages, which include 6 sections, 16 illustrations and 22 bibliographic titles according to the list of reference sources.

Keywords: mesh, RF, BLE, RSSI, CC1352R1.

The forest fire surveillance system is a fascinating idea in which thousands of devices for scanning the environment and transmitting data to online storage are being transformed into a telecommunications study. In addition, to support the secure transmission of real-time information with low power supply, which will reduce the cost of monitoring forests.

Absolutely all forest fires are extremely dangerous, because the fire ignites very quickly and, despite the constant monitoring of fire-hazardous areas, by the time a natural disaster is detected, they often have time to cover a considerable area. Drought-related fires are particularly dangerous, as they cover hundreds of thousands of hectares, destroying forest-dwelling settlements and agricultural lands.

Purpose and objectives. The goal is to create a system based on LPWAN technology and mesh networks, which will be able to deploy over large areas of forest.

Object and subject of work. The object is a transmission system based on LPWAN technology and mesh networks. The subject is to reduce the consumption of the system by various methods of information transmission, reduce the time of notification of fire hazards and reduce the cost of monitoring forests.

Connection of work with scientific programs, plans, topics. The dissertation research was conducted within the framework of the research "Model of the reduction programming environment" № registration in NDIEMST KPI. Igor Sikorsky - DR № 0120U101752

Scientific novelty of the obtained results. The scientific novelty is confirmed by the presence in MD of the obtained results, graphs that prove the efficiency of the system and the effect of flame on temperature, humidity and lighting. The use of existing LPWAN technologies reduces the power supply of the system and the speed of information transfer.

ЗМІСТ

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. ПОЖЕЖІ	6
1.1 Пожежа	6
1.2. Лісові пожежі та причини їх виникнення	7
1.3 Огляд лісових пожеж 2020 року	9
1.4. Методи зменшення збитків при пожежі	11
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ ТА АНАЛІЗ СВІТОВИХ РІШЕНЬ	13
2.1. Моніторинг лісових пожеж	13
2.2. Раннє виявлення та перевірка лісових пожеж за допомогою оптичних датчиків диму, газу та мікрохвиль	16
2.3. Нові рішення для раннього виявлення лісових пожеж	20
2.4. Система виявлення потенційно небезпечних об'єктів «Лісовий Дозор»	24
2.5 Центральна база авіаційної охорони лісів	26
2.6. Перша Українська система	30
2.7. Патентний пошук рішень передачі даних	33
Висновок	39
РОЗДІЛ 3. Mesh –мережі та LPWAN системи	41
3.1. Переваги та недоліки Mesh-мереж	41
3.2. Архітектура Mesh-мереж із визначенням сильних та слабких сторін	43
3.3. Mesh системи в порівнянні із роутерами	45
3.4. LPWAN і інші бездротові технології	46
3.5. Мережі LPWAN: історія і перспективи	53
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ЗАГОРЯННЯ ЛІСОВИХ МАСИВІВ І РАННЬОГО ОПОВІЩЕННЯ НА ОСНОВІ СІТЧАСТОЇ СТРУКТУРИ	58
4.1. Вибір компонентів та топології системи	58
4.2. Розробка пристрою	59
4.3. Архітектура системи та протокол обміну між кінцевими пристроями	65

5. ОБҐРУНТУВАННЯ СУТНОСТІ СТАРТАП ПРОЕКТУ. ІДЕЯ, ЦІЛЬОВІ ГРУПИ СПОЖИВАЧІВ, ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ	73
5.1. Опис ідеї стартап-проекту	74
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту	75
5.3. Аналіз ринкового середовища	75
5.4. Аналіз стратегій розвитку	79
5.5. Області застосування результатів та очікуваний ефект	81
Висновок	82
ВИСНОВОК	84
Додаток А	88
Додаток Б Акт впровадження	

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: **Система виявлення загоряння лісових масивів і раннього
оповіщення**

Київ – 2020 року

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

МК – мікроконтролер

ДП – друкована плата

ДМ – друкований монтаж

ДВ – друкований вузол

КЕ – конструктивні елементи

ПК – персональний комп'ютер

ПМ – посадкове місце

ШИМ, PWM – широтно-імпульсна модуляція

САПР – система автоматизованого проектування.

УГП – умовно-графічне позначення

ПЗ – програмне забезпечення

BLE – Bluetooth Low Energy

RSSI - Received Signal Strength Indication

ВСТУП

Актуальність теми. Лісові пожежі - явище досить поширене: іноді для запалення дерева досить іскри, удару блискавки. Враховуючи, що в багатьох країнах бур'яни не викопували на полях для знищення, а підпалювали, пожежна небезпека лавиноподібно зростає.

Приборкання стихії, що розбушувалася ускладнюється у випадку сухої та вітряної погоди і температури навколишнього середовища більшої за 22 градуси по Цельсію. Це призводить не тільки до прямих втрат цінної сировини, але й до серйозних проблем з екологією у регіоні стихійного лиха. Таким чином, навіть після ліквідації наслідків стихії регіон буде відновлюватися не один рік, на що підуть чималі кошти.

Лісовою пожежею називають неконтрольоване, стихійне поширення вогню, що призводить до часткового або повного вигорання рослинності, родючого ґрунту і спричиняє загибель мешканців лісу, які не встигли покинути зону ураження вогнем.

Абсолютно всі лісові пожежі надзвичайно небезпечні, оскільки вогонь займається дуже швидко, і, незважаючи на постійний моніторинг легкозаймистих ділянок, на момент виявлення стихійного лиха, пожежа часто встигає захопити значну територію. Особливо небезпечними є пожежі під час посухи, вони охоплюють сотні тисяч гектарів і знищують ліси та орні землі.

Гостро стоїть питання раннього виявлення і попередження про сприятливе середовище для загоряння. На даний момент існують наступні варіанти виявлення лісових пожеж:

1. Наземний моніторинг
2. IP-відеоспостереження і відеоаналітика
3. Аналіз інформації з космосу

Кожен із запропонованих методів має або низьку ефективність, або захмарну вартість його експлуатації, що призводить до неможливості або високої вартості спостережень за великими лісовими масивами. І при цьому вони не забезпечують реальної профілактики пожежонебезпеки. Можливим рішенням

будуть сітчасті системи з датчиків вимірювання температури, вологості і випромінювання, які зможуть аналізувати отримані дані і вчасно попередити про небезпеку пожежі.

В основі передачі даних за технологією LPWAN на фізичному рівні РНУ лежить властивість радіосистем - збільшення енергетики, а значить і дальності зв'язку при зменшенні швидкості передачі. Чим нижче бітова швидкість передачі, тим більше енергії вкладається в кожен біт і тим легше виділити його на тлі шумів в приймальні частини системи. До переваг LPWAN відносяться, зокрема:

- Велика дальність передачі сигналу у порівнянні з іншими бездротовими технологіями, що використовуються для телеметрії GPRS або ZigBee, досягає 10-15 км [1].
- Низький рівень споживання енергії у кінцевих пристроїв, завдяки мінімальним витратам енергії на передачу невеликого пакета даних.
- Висока проникаюча здатність радіосигналу в міській забудові при використанні частот суб-гігагерцового діапазону.
- Висока масштабованість мережі на великих територіях [1].
- Відсутність необхідності отримання частотного дозволу та плати за радіочастотний спектр, внаслідок використання неліцензійних частот (ISM band)

Таким чином mesh-мережа вимірювальних пристроїв з використанням технології LPWAN є безумовно перспективною, енергоефективною і високоефективною системою виявлення і профілактики лісових пожеж.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
Дисертаційне дослідження проводилися у рамках НДР "Модель редуційного середовища програмування" № реєстрації в НДІЕМСТ КПІ ім. Ігоря Сікорського - ДР № 0120U101752

Об'єктом дослідження є система передачі на базі технології LPWAN та mesh-мереж.

Предметом дослідження є збільшення ефективності системи за рахунок методів передачі інформації з низьким енергоспоживанням, зменшення часу

повідомлення про небезпеку пожежі та зменшення загальної вартості спостереження за лісовими масивами.

Мета і задачі дослідження. Метою є створення на базі технології LPWAN та mesh-мереж системи профілактики та моніторингу пожежонебезпечних явищ, що матиме змогу розгортатися на великих площах лісових масивів.

Основні завдання, що поставлені в роботі для досягнення кінцевої мети:

- Здійснити первинну класифікацію причин займання лісових масивів та вплив полум'я на вимірювані характеристики температури, вологості та освітлення
- Провести огляд інформації про лісових пожеж у світі, спричинених руйнувань та завданих збитків різним державам у різних кліматичних зонах
- Дослідити системи виявлення пожеж, що вже існують на ринку та проведено аналіз світових рішень по боротьбі з пожежами
- Провести патентний пошук відносно існуючих рішень
- Аналіз позитивів та основних системних недоліків цих рішень
- Дослідити побудову mesh-мережі та запропоновано топологію мережі на їх основі для вирішення задачі моніторингу великих площ території
- Провести дослідження технології LPWAN та порівняльну характеристику з іншими методами передачі даних
- Розробити архітектуру системи моніторингу за лісовими масивами та на основі неї створити репрезентативний приклад реалізації сенсору температури, вологості і освітлення для спостереження за станом навколишнього середовища
- Розробити стартап-проект.

Наукова новизна одержаних результатів:

- Запропоновано архітектурне рішення системи спостереження за лісовими масивами
- Розроблено топологію mesh-мережі, що вирішує проблему розгортання системи на великих площах

- Розроблено протокол доставки повідомлень від віддалених датчиків моніторингу до пристрою концентратора
- Проведено порівняльний аналіз технологій передачі даних відносно швидкості передачі та радіусу роботи
- Розроблено приклад структурно-функціональної організації системи спостереження за лісовими масивами з прив'язкою до конкретної території

Практичне значення отриманих результатів визначається запропонованою архітектурою системи виявлення загоряння лісових масивів і раннього оповіщення, що забезпечує можливість розгортання пристроїв моніторингу на великих площах без потреби підключення до інтернету та енергомережі. Розроблено схемотехнічне рішення пристрою спостереження.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 102 сторінок, в тому числі 85 сторінки основного тексту, 16 рисунків, 18 таблиць, список використаних джерел із 22 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ПОЖЕЖІ

1.1 Пожежа

Пожежа на неосвоєних територіях або у сільській місцевості часто є незапланованим, небажаним, неконтрольованим стихійним лихом в районі з великою концентрацією потенційного палива – трави, дерев, торф'яників, тощо. Залежно від типу наявної рослинності, лісовий вогонь також можна класифікувати більш конкретно як лісову пожежу, вогонь з щіткою, пожежа в кущах (в Австралії), пожежа в пустелі, пожежа на траві, пожежа на пагорбах, торф, пожежа на прерію, пожежа рослинності, або вельд-вогонь. При цьому, розглядати незапланованість та неочікуваність пожеж як їх незмінний атрибут теж не зовсім вірно. Пожежа в дикій природі це більш широкий термін, який включає, зокрема передбачувану пожежу, т.з. зустрічний вогонь, тощо.

Викопне деревне вугілля свідчить про те, що пожежі почалися незабаром після появи наземних рослин 420 мільйонів років тому. Поява лісових пожеж протягом історії земного життя викликає припущення, що вогонь повинен мати виражений еволюційний вплив на флору та фауну більшості екосистем. Земля - це сама по собі легкозаймиста планета завдяки своєму покриву багатою вуглецем рослинністю, сезонним сухим кліматом, атмосферним киснем та широко розповсюдженими блискавками та вулканічними спалахами.

Лісові пожежі можна охарактеризувати з точки зору причини займання, їх фізичних властивостей, наявного горючого матеріалу та впливу погоди на пожежу. Лісові пожежі можуть завдати шкоди майну та життю людей, хоча природні пожежі можуть мати благотворний вплив на місцеву рослинність, тварин та екосистеми, які еволюціонували внаслідок пожежі. Поведінка стихійних явищ та важкість пожежі зумовлені комбінацією таких факторів, як доступне паливо, фізичні умови та погода. Аналіз історичних метеорологічних даних та національних пожежних записів на заході Північної Америки показує значимість клімату у великих регіональних пожежах у вологі періоди, коли продукуються величезні об'єми потенційного палива, або посуху та потепління, що забезпечують сприятливу пожежонебезпечну погоду.

1.2. Лісові пожежі та причини їх виникнення

Лісові пожежі - це часте природне чи техногенне явище для багатьох частин світу. Вразливі райони в основному розташовані в помірному кліматі, де пльовіометр досить високий, щоб забезпечити значний рівень рослинності, але літо дуже спекотне і сухе, створюючи небезпечний об'єм потенційного палива. Глобальне потепління сприятиме збільшенню кількості та важливості цих катастроф. Кожного сезону не тільки тисячі лісових гектарів знищуються внаслідок пожеж дикої природи, але й знищуються активи, майно, державні ресурси та споруди. Більш того, пожежники та цивільне населення зазнають ризику, щороку страшні жертви втрачають людські життя.

Незважаючи на те, що за останні десятиліття було досягнуто прогресу в галузі боротьби з пожежами, все ще існує потреба в посиленні спроможності реагування на катастрофи, включаючи системи раннього попередження та вдосконалення обміну даними в режимі реального часу на всіх етапах та рівнях схеми моніторингу лісів. Технологічні досягнення стають ключовою силою, що рухає продуктивні зміни в боротьбі з пожежами в дикій природі. Останні події в галузі інформаційно-комунікаційних технологій вже мають величезний вплив для розвитку систем раннього виявлення лісових пожеж.

Пожежа в дикій природі - це неконтрольоване явище, яке виникає переважно в лісових районах, хоча може також вразити і прилеглі міські або сільськогосподарські райони. Серед основних причин лісових пожеж людські фактори, навмисні чи випадкові, є найбільш звичними. Очікується, що кількість та вплив лісових пожеж зростатимуть як наслідок глобального потепління. Для боротьби з цими стихійними явищами необхідно застосовувати комплексний, багаторівневий підхід, що базується на постійному відслідковуванні у динаміці ситуації та негайному реагуванні на негативні зміни. У цій роботі описується ієрархічна бездротова мережа датчиків, спрямована на раннє виявлення пожежі в небезпечних районах, інтегрована з центрами управління пожежогасіння, географічними інформаційними системами та симуляторами пожежі. Ця

конфігурація була успішно випробувана у двох моделюваннях пожежі, в яких задіяні всі ключові чинники в операціях з пожежогасіння: пожежні команди, системи зв'язку та повітряні, координаційні та наземні засоби.

Лісові пожежі можуть, як показує практика спостережень, спалити мільйони гектарів землі з дуже високою швидкістю їх поширення та величезними втратами. Середня швидкість розповсюдження пожежі сягає приблизно 20 км, що значно не дає шансу врятуватися людині без швидкісних засобів пересування – мотоцикла, автомобіля, тощо.

При цьому, заради справедливості необхідно відзначити, що природні пожежі при всій їх катастрофічності відіграють важливу роль у природі. Спалюючи мертві речовини або ті, що розкладаються, вони повертають в ґрунт поживні речовини. Вони також діють як дезінфікуючий засіб, виводячи з екосистеми рослин-паразитів та шкідливих комах.

Лісові пожежі розріджують лісові навіси та підліски, дозволяючи сонячному світлу досягати лісової підстилки та вирощувати саджанці нового покоління. Насправді деякі види дерев, покладаються на вогонь, щоб їх насіння навіть відкрилося.

Щодо ж передумов виникнення пожеж, то Агенція з охорони навколишнього середовища класифікує їх як стихійні лиха, лише у 10-15 % відсотків випадків, коли пожеж відбуваються самі по собі в природі. Інші від 85 до 90 відсотків спричинені людськими причинами, включаючи пожежі в таборах та сміття, викинуті сигарети та підпали.

Природні стихійні пожежі можуть спалахувати під час сухої погоди та посухи. У цих умовах звичайно зелена рослинність може перетворитися на сухе горюче паливо; сильний вітер швидко поширює вогонь; а тепла температура сприяє горінню. З такими обставинами для спустошення території бракує лише іскри - у вигляді блискавки, підпалу, збитої лінії електропередач, палаючого багаття або сигарети..

Для горіння лісової пожежі повинні бути наявні природні або техногенні умови: паливо, кисень та джерело тепла. Пожежники називають ці три елементи

пожежним трикутником.

Паливо - це будь-який легкозаймистий матеріал, що оточує вогонь, включаючи дерева, траву, щітку і навіть будинки. Чим більшим є потенційне паливне навантаження в регіоні, тим потужнішою може бути пожежа. Наприклад, найбільш схильний до пожеж у США штат Каліфорнія втратила 259 148 акрів продуктивних угідь у 8 194 пожеж у 2019 році.

Повітря постачає кисень, який потрібен горінню. Джерела тепла допомагають розпалити лісовий вогонь і довести паливо до температури, досить гарячої для займання. Блискавка, палаючі багаття або сигарети, і навіть сонце можуть забезпечити достатньо тепла, щоб розпалити лісовий вогонь. Такі теплові петлі, як взаємовплив трьох основних факторів будь-якої пожежі тому повинні бути об'єктами особливої уваги у будь-якій розроблюваній системі попередження та моніторингу пожежонебезпечних явищ.

Боротьба з пожежею полягає у нівелюванні одного чи декількох факторів теплового трикутника. Одним з традиційних методів є гасіння існуючих пожеж водою та розпиленням антипіренів. Пожежники також іноді працюють у командах, які часто називають "гарячими пострілами" , щоб очистити рослинність із землі навколо вогню і стримати розповсюдження пожежі, лишивши її потенційного палива. Отримані таким чином ділянки території називаються протипожежними . Пожежники можуть також застосовувати контрольоване горіння, створюючи зворотні вогні , щоб зупинити пожежу.

1.3 Огляд лісових пожеж 2020 року

У 2020 році сезон лісових пожеж у США, що триває з червня по вересень, був особливо руйнівним. Це літо було найгарячішим за останній рік, а посуха в Каліфорнії тривала аж до вересня. Це призвело до того, що до кінця червня Каліфорнійський департамент лісового та протипожежного захисту реагував на майже вдвічі більшу кількість пожеж, ніж за весь сезон 2019 року.

Збитки, спричинені вогнем в США, значно зросли за останні два

десятиліття. В середньому з 2000р, щорічно 72400 лісових пожеж очищали приблизно 7 мільйонів гектарів земель США, що вдвічі перевищує площу, що була випалена лісовими пожежами в 1990-х роках. У 2015 році найбільший сезон лісових пожеж, зафіксований в історії США, спалив понад 10 мільйонів гектарів землі.

Очікується, що з часом клімат буде змінюватись і це призведе до того, що більша частина США стане більш спекотно та посушливою, через це очікується зростання ризику пожежі. У той же час, населення Сполучених Штатів зростає, а люди все частіше приїжджають у сільські та пустельні райони і це може призвести до ще більших проблем з вогнем та підвищенню ризику виникнення пожеж.

Каліфорнія, Орегон та Вашингтон переживають сезон пожеж історичних масштабів. Цього року, в результаті стихійних пожеж, загинуло щонайменше 40 людей та знищено понад 7000 споруд, спаливши понад три мільйони гектарів у трьох штатах.

Пожежа Зогг у окрузі Шаста спалила близько 52 000 гектарів. Як повідомляє Cal Fire, внаслідок пожежі загинули троє людей та знищено 146 споруд, а також були віддані накази про евакуацію понад тисячі людей.

Північний комплекс, який поглинув вогонь, горів більше місяця після того, як в нього вдарила блискавка 17 серпня.

Окрім блискавок, драйвером вогню може бути і вітер, що спричинив швидке розповсюдження вогню у невеликих гірських громадах, таких як Беррі-Крік, ця пожежа призвела до знищення понад 2000 споруд та будинків та спалення понад 300 000 гектарів землі.

Поширюючись на кордоні між Каліфорнією та Орегоном, вогонь, якій назвали «Слейтерів» розпочався 7 вересня і з часом злився з меншим «Диявольським» вогнем. Він спалив понад 154 000 гектарів. В цій пожежі загинули двоє людей поблизу міста Щасливий табір, звідки жителям було наказано евакуюватися. Ось чому критично важливо зрозуміти, як починаються пожежі, як їх зупинити та що робити, коли вони трапляються.

1.4. Методи зменшення збитків при пожежі

Лісові пожежі спустошують все, що трапляється на їх шляху. У 2018 році найбільш руйнівна каліфорнійська пожежа усіх часів призвела до 85 смертей та стала найдорожчим у світі стихійним лихом того року, збитки від неї перевищили 16 мільярдів доларів. Хоча вогонь важко зупинити, існує багато правил, що допоможуть обмежити руйнування та збитки від пожежі.

До пожежі:

- Якщо ви знаєте, що пожежа рухається до вашого району, найкраще що можна зробити це - негайно піти.
- Якщо ви мешкаєте в небезпечному для районі, найкраще заздалегідь підготуватися на випадок виникнення пожежі. Потрібно заздалегідь розробити план евакуації та зібрати сумку з усім необхідним.
- Приберіть грилі, цистерни з пропаном або інші легкозаймисті матеріали, які можуть бути у вашому дворі.
- Закрийте всі двері та вікна, після чого наповніть раковини, ванни та інші ємності водою, щоб у вас була можливість протистояти вогню.
- Перекрийте постачання природного газу, пропану або мазуту.
- Купуючи житло в пожежонебезпечному районі, намагайтеся уникати місцевості на крутих схилах, що заповнені легкозаймистою рослинністю. Хоча деякі люди побоюються, що будинки біля чагарників частіше горять, але це залежить від рослинності та самої місцевості. Частіше, ландшафт без рослинності може бути ідеальною злітно-посадковою смугою для вітрів, що приносять жар, або розпечене вугілля, що є однією з найбільших загроз для будинків під час пожежі.
- Змочування даху може допомогти зменшити ризик потрапляння вогненебезпечних частинок у повітря. Насправді, деякі люди у пожежонебезпечних районах навіть встановлюють для цієї мети спеціальні прилади на даху.
- Якщо ви не можете піти, коли наближається вогонь, наберіть до служби

порятунку. Тоді надіньте маску для обличчя, або краще, респіратор N95, який допоможе зменшити потік диму та небезпечних частинок до легенів.

Протягом пожежі:

- Якщо ти все ще можеш піти, піди.
- Слухайте екстрені сповіщення.
- Якщо ви не можете піти, затримайтесь всередині будівлі. В іншому випадку, йдіть до найбезпечнішої будівлі чи кімнати з найнижчим рівнем задимленості. Низько присідайте щоб дихати більш чистим повітрям. Якщо у вас немає маски, дихайте через мокру тканину.
- Якщо пожежа настигла вас надворі, спробуйте знайти водойму, щоб сховатись в ній. Якщо це неможливо, знайдіть западину з найменшою кількістю рослинності і ляжте в неї, прикриваючись мокрим ковдрами, одягом або ґрунтом, якщо це можливо.

Після пожежі:

- Не повертайтеся, доки вам не накажуть це зробити.
- Послухайте владу, перш ніж пити воду з району де виникла пожежа.
- Уникайте гарячих, задимлених або обвуглених предметів.
- Надішліть повідомлення друзям і родичам, але не телефонуйте. Лінії можуть бути зайняті.
- Носіть маску та зафіксуйте матеріальні збитки.
- Остерігайтеся ризику затоплення, оскільки дерева та захисна рослинність могли бути знищені, оголюючи пухкий ґрунт.

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ ТА АНАЛІЗ СВІТОВИХ РІШЕНЬ

2.1. Моніторинг лісових пожеж

Найбільш традиційний метод виявлення пожеж - це візуальне виявлення людьми зі спеціалізованих конструкцій - вишок. Даний метод використовується понад сто років з невеликими удосконаленнями, пов'язаними з використанням засобів зв'язку (рації, стільниковий зв'язок та ін.) І оптичними пристроями візуального контролю (біноклі, підзорні труби та ін.).

В ідеальному варіанті виявлення пожежі відбувається наступним чином: на спеціалізованій вишці (призначений для тривалого перебування на ній людини) на спеціальному майданчику знаходиться спостерігач, який візуально оцінює небезпеку.

Додатково на майданчик наносять азимутальне коло для визначення напрямку. При візуальному виявленні пожежі спостерігач за допомогою азимутального кола визначає напрямок на пожежу, і повідомляє його в центр контролю за допомогою засобів зв'язку. З центру контролю визначають, з якою ще вишки може бути виявлена ця пожежа і зв'язуються з іншими спостерігачами, що так само виявляють пожежу і визначають напрямок до неї. Після чого в центрі контролю, використовуючи відомі напрямки з вишок, розраховують місцезнаходження пожежі і вживають заходів для її ліквідації.

До переваг даного методу можна віднести збережену до сьогоднішніх днів інфраструктуру вишок, що може бути використана, простоту методу і досить високу оперативність (при наявності сприятливих погодних умов та достатньої кількості спостерігачів на вишках).

Детальніше варто зупинитися на недоліках методу. Основними недоліком даного способу виявлення є необхідність постійного використання людської праці в кожній точці розташування вишки, протягом всього часу пожежонебезпечного сезону (для забезпечення оперативності) і обмеження

території моніторингу кількістю встановлених вишок. В даний час цей метод практично не використовується через відсутність достатньої кількості фахівців на місцях. Для прикладу можна навести Житомирську область, в якій в 80-х роках минулого століття для оперативного виявлення пожеж працювало близько 6000 лісничих, зараз їх менше 600 чоловік. Крім того, на точність і своєчасність виявлення пожежі сильно впливає людський фактор (людина може втомитися, заснути), контролювати таку велику кількість людей на величезній території практично неможливо. В описаному методі так само неможливо автоматизувати процес виявлення і доставки інформації.

Істотним недоліком є висока вартість вишки, тому що вишка повинна бути спеціально обладнана для постійного перебування на ній людини. Для прикладу вартість вишки призначеної тільки для розміщення обладнання становить 500\$ за метр висоти, вартість пожежної вишки становить понад 1200\$ за метр. З цієї причини пожежні вишки не оновлюється вже більше 15-20 років, і більшість з них вже не можуть бути використані через аварійний технічний стан.

Не варто забувати і про спосіб виявлення пожежі за допомогою місцевого населення, що при сьогоденньому розвитку мобільного зв'язку, досить часто може бути ефективним.

Розглянемо наступний метод виявлення пожеж - виявлення пожеж з повітря, за допомогою літальних апаратів.

Пілот на літальному апараті (легкий літак, вертоліт) з певною періодичністю облітають пожежонебезпечну територію, при візуальному виявленні пожежі штурман визначає її координати і передає в центр контролю інформацію про неї.

Основною перевагою даного методу є можливість моніторингу будь-якої, навіть найвіддаленішої та дикої території. Основним недоліком є дуже висока вартість льотної години, для прикладу льотна година літака Ан-2 (основний літак, який використовується для виявлення лісових пожеж) коштує близько 800\$. Даний літак уже давно знято з виробництва і його все частіше замінюють вертольотом Мі, вартість льотної години якого становить понад 1600\$. Крім того, необхідний спеціально навчений персонал, що безпосередньо і визначають

маршрут польоту, візуально виявляють місця загоряння і визначають координати. Неможливо так само вести безперервний моніторинг великої території, що може бути причиною пізнього виявлення пожежі.

Пілоти літального апарату (легкий літак, вертоліт) з певною періодичністю облітають пожежонебезпечну територію, при візуальному виявленні пожежі штурман визначає його координати і передає в центр контролю інформацію про місцезнаходження епіцентру полум'я.

Деяку популярність зараз набирають безпілотні літальні апарати, використання яких може трохи знизити вартість льотної години, але не позбавляє від проблеми несвоєчасного виявлення. Крім того, якщо літаки і вертольоти загального призначення можуть використовуватися для інших цілей, то «безпілотники» не можуть бути використані для будь-чого іншого, що перекладає всі витрати (придбання, обслуговування, ремонт, ПММ) на служби, котрі займаються моніторингом лісових пожеж. Для прикладу тільки вартість безпілотного літака імпортного виробництва складає близько \$ 1000000.

Система супутникового моніторингу працює наступним чином, спеціалізовані супутники, що знаходяться на не геостаціонарних орбітах, виконують знімки земної поверхні в ІК-діапазоні (з подальшою передачею на наземну станцію). На основі різниці температури поверхні землі і температури вогню, можливо визначити епіцентр пожежі. Картинка передається в спеціальні центри, звідки зацікавлені користувачі можуть отримувати всі дані через мережу Інтернет. До переваг даного способу варто віднести автоматизацію процесу отримання даних, дистанційність, можливість проводити моніторинг будь-якої ділянки місцевості, легкий доступ до інформації через мережу Інтернет [5].

Основною особливістю відеосистеми моніторингу є високий ступінь автоматизації і можливість використовувати дешеві і прості вишки. Існуючі системи представляють поворотні камери, що встановлюються на вишках з виводом відеозображення на пульт оператора, який повинен знаходитися поряд з постом відеомоніторингу, даний підхід не дозволяє визначати координати пожежі (неможливість визначення напрямку з двох точок, що знаходяться у

різних місцях). Масштабувати таку систему також не представляється можливим, замовнику в кожній точці моніторингу необхідно тримати людину, яка буде здійснювати візуальний контроль.

Істотними недоліками методів спостереження, що використовуються в даний час є неможливість раннього виявлення, автоматизації процесу моніторингу і визначення місця розташування вогню.

Але при всіх недоліках супутниковий моніторинг необхідний в разі великих лісових територій і відсутності можливості моніторингу іншими способами (вартість супутникового моніторингу також невисока)

2.2. Раннє виявлення та перевірка лісових пожеж за допомогою оптичних датчиків диму, газу та мікрохвиль

Група компаній, дослідницьких інститутів та університетів спільно працюють над розробкою інтегрованої, але модульної системи. Комплексний підхід до раннього виявлення та придушення лісових пожеж базується на адекватній комбінації різних систем виявлення залежно від ризику пожежі, розміру території та присутності людей, пов'язаних з адекватною логістичною інфраструктурою, навчанням за допомогою моделювання та інноваційною технологією гасіння. Як і у випадку стихійних пожеж, за великими територіями слід контролювати лише технології дистанційного зондування (наприклад, системи на базі відео), які можуть адекватно виконувати раннє виявлення. Для зменшення помилкових тривог безпілотний літальний апарат (БПЛА), обладнаний газовими датчиками та тепловою камерою, летить до потенційної пожежі, щоб вказати походження повідомленої хмари. БПЛА може також використовуватися як розвідник для пожежників. Після успішного гасіння пожежі безпілотник може бути використаний як пожежна охорона, щоб зменшити ризик повторного займання вогню. В якості інструментів контролю мікрохвильовий радіометр, який виявляє гарячі точки також при недостатній видимості (через димові хмари та під поверхнею землі), датчики газу, диму та

теплова камера встановлені на вежі. У цій роботі представлено дослідження системи раннього виявлення лісових пожеж на основі внутрішніх (проведених у пожежній лабораторії Університету Дуйсбург-Ессен) та зовнішніх випробувань. Описано комерційний високочутливий аспіраційний димовий детектор, два датчики газу (H_2 і $CXHX$), мікрохвильовий радіометр та алгоритми виявлення. Представлено загальний огляд проекту та платформ перевізників.

Швидке та ефективне виявлення є ключовим фактором боротьби з лісовими пожежами. Щоб уникнути неконтрольованого широкого розповсюдження лісових пожеж необхідно виявити вогонь в ранньому стані та запобігти розповсюдженню. Важливо перенести потрібне пожежне обладнання та залучити кваліфікованих спеціалістів якомога швидше до місця пожежі. Необхідно адекватне матеріально-технічне забезпечення, необхідна інфраструктура для достатнього забезпечення засобами пожежогасіння та технічного обслуговування, а також постійного моніторингу поширення вогню. Крім того, підготовка персоналу є важливою складовою для успішної боротьби з лісовими пожежами. Комплексний підхід до виявлення та ліквідації лісових пожеж базується на поєднанні різних систем виявлення залежно від ризику пожежі, розміру території та присутності людей, що складається з усіх необхідних частин, таких як ранні виявлення, методи дистанційного зондування, матеріально-технічне забезпечення та навчання за допомогою моделювання та протипожежних машин.

Несуча платформа для системи виявлення у разі раннього виявлення пожежі - це автономно літаючий відео дрон з можливістю самостійної навігації на будь-якій території. AirRobot AR100-B пропонує бюджетну альтернативу звичайному повітряному спостереженню пілотованим вертольотом. БПЛА дозволяє пожежній охороні отримати максимальну обізнаність про ситуацію та події під час їх місії. Він може бути використаний для підтвердження сигналу тривоги, виявленого відеосистемою, а також проводити розвідку, допомагаючи знаходити гарячі точки, особливо вночі, поки не літають літаки для пожежогасіння.

Якщо пожежні гази подаються до детектора за допомогою повітряного

поток, вони аналізуються за допомогою різних напівпровідникових газових датчиків. Проникний захисний ковпачок з спеченого металу захищає елементи датчика від забруднення пилом і вологою. Таким чином на масив датчиків не впливають неприємні аерозолі, такі як пил, бруд, туман або конденсуюча вода.

Система датчиків використовується для перевірки неоднозначної ситуації, виявленої системою на базі відео, а також для спостереження за погашений вогонь. Тому датчики повинні бути широко захищені від таких порушень, як пара, туман, забруднення пилом та конденсатна вода, яка зазвичай змушує відеосистеми подавати помилкові тривоги.

Різниця від звичайних установок у промислових приміщеннях або в приватних будинках полягає в розбавленні та екстремумі турбулентності, спричинена вітром. Датчики повинні бути досить чутливими для виявлення навіть дуже низьких концентрацій диму. Для цього використовуються газові датчики або їх комбінація разом із аспіраційною системою. Але ця програма вимагає інший спосіб тестування під час розробки алгоритму порівняно зі стандартизованими методами тестування на дим детектори, встановлені в будинках. Для досягнення мети виявлення лісових пожеж у дуже ранній стан важливо розуміти фаза займання лісової пожежі.

Основна увага приділяється ранньому виявленню димових пожеж з метою зменшення пошкодженої ділянки до мінімуму. Великий і лісові пожежі високої інтенсивності широко не піддаються контролю та викликають дуже високий ризик. Зменшити помилкові тривоги, особливо навряд чи доступна місцевість, така як лісова пожежа в горах, БПЛА з дистанційним управлінням може полетіти до місця, де є пожежа передбачається підтвердити, що походження диму, швидше за все, є пожежа. 10 та 11 показують датчик та температуру газу дані, виміряні під час льотних випробувань за допомогою безпілота AirRobot, а також сигнал тривоги Sgas, T. Алгоритм виявлення та поріг тривоги був адаптований до ситуації.

Запропонований мікрохвильовий радіометр виявляє випромінювання вогню на частоті 22,3 ГГц. Відповідно до закону Планка чорне тіло сягає його максимум

потужності випромінювання в інфрачервоній області. З припущенням, що вогонь має подібні характеристики, як а чорний корпус, широке використання звичайних ІЧ-камер у програмах виявлення пожежі є обґрунтованим. У було показано, що виявлення пожежі можливо також за допомогою мікрохвильових датчиків. Крім того, хороша передача ормаліз в дим, пил і туман типово для датчиків, що працюють в області нижчих ГГц. Фон - довжина довжини хвилі, яка призводить до меншого поглинання і розсіювання на частинках матеріалів з меншими діаметрами порівняно з інфрачервоним світлом. Ця характеристика мікрохвилі можна використовувати для виявлення гарячих точок в заповнених димом середовищах. Крім того, після гасіння лісової пожежі, часто виникають і поширюються гарячі точки під поверхнею землі. Це дуже часто призводить до повторного займання вогню. Мікрохвильовий радіометр дозволяє виявляти гарячі точки, навіть якщо вогонь покритий тонкими шарами листя.

2.3. Нові рішення для раннього виявлення лісових пожеж

Пожежа здатна забрати людські життя, завдати шкоди здоров'ю, знищити будівлі і природні ресурси.

Лісові пожежі, посуха і аномальна спека, які охопили Московський регіон влітку 2010 р, привернули увагу не тільки російських, але і зарубіжних фахівців. Деякі західні кліматологи вважають, що всьому виною згубна для навколишнього середовища діяльність людини.

За даними вчених, влітку 2010 р температура повітря в Москві і області перевищила норму більш ніж у три рази.

Небезпека пожеж полягає в тому, що вони мають властивість збільшуватися в масштабах, охоплюючи нові площі та поширюючись на найближчі об'єкти. Для ефективної боротьби з ними недостатньо мати велику кількість протипожежної техніки. Необхідні заходи щодо попередження пожеж та застосування технічних засобів, що дозволяють виявити пожежу в ранній - димної фазі.

Якщо в приміщеннях завдання виявлення загорянь вирішуються спеціальними датчиками, в тому числі оптичними, то на відкритій місцевості і тим більше в лісах ця задача набагато складніше. Це пов'язано зі складною обстановкою - зміною напрямку вітру, зміною погоди і часу доби.

Причини виникнення пожеж заслуговують на окрему увагу. У більшості випадків це необережне поводження з вогнем та легкозаймистими рідинами, нехтування заходами пожежної безпеки або зовсім відсутність протипожежних засобів. Людина є однією з основних причин виникнення пожеж - недбалість і відсутність почуття відповідальності призводять до згубних наслідків.

Проте людини можна контролювати і попередити про можливу пожежної небезпеки. Складніше в ситуаціях, коли пожежі виникають з вини природних катаклізмів. Як боротися з природними причинами виникнення пожеж? Сонячна активність і електричні розряди блискавки є неконтрольованими природними явищами і являють собою велику небезпеку. Проблема полягає ще і в тому, що місце, де відбудеться загоряння, практично неможливо точно визначити. Густа

гущавина лісу не дозволяє проводити візуальний контроль і виявляти момент загоряння.

Виявлення пожежі: традиційні методи

Ефективність заходів по ліквідації пожежі залежить від трьох чинників:

- оперативність виявлення пожежі;
- швидкість реакції і доставки пожежної техніки до місця пожежі;
- узгодженість і ефективність дій пожежних служб.

Супутниковий і авіа моніторинг - Лісові пожежі, як правило, виявляють або по задимленню (супутникові знімки, наземні спостереження), або за допомогою ІК-датчиків, встановлених на повітряних судах, які здійснюють регулярні польоти потенційно небезпечних територій. Практика показує, що, незважаючи на спроби впровадження систем виявлення лісових пожеж, при витратах значних коштів на вирішення цього завдання до теперішнього часу проблема з великим рахунком залишається невирішеною. У 2012 м, ще до приходу літа, на території Росії зафіксовані десятки лісових пожеж.

Застосування алгоритму технології комп'ютерного зору в системі дистанційного моніторингу лісових пожеж дозволить в реальному часі в автоматичному режимі виявляти загоряння і попереджати про них оператора

Описані вище методи виявлення загорянь мають ряд недоліків, які необхідно компенсувати за допомогою впровадження нових технічних засобів.

Пожежа помітний із супутників, коли охоплює досить значну площу. Час реагування на тривожні повідомлення становить від декількох годин до доби. Не можна виключати погодні фактори. У хмарну погоду супутник може не забезпечити виявлення; при ясному небі існує ймовірність того, що сонячне світло "заглушить" ІК-сигнал від пожежі.

Візуальний моніторинг Традиційно використовують для виявлення лісових загорянь застосовується і візуальний моніторинг, при якому спостерігач за допомогою азимутального кола повинен визначити напрямок місця загоряння і передати ці дані в центр контролю. Далі в центрі контролю встановлюється, з якою вишкою можна підтвердити виявлення цієї пожежі, проводиться зв'язок з

іншим спостерігачем, який повинен підтвердити виявлений пожежа і визначити його напрямок. Потім в центрі контролю за допомогою карти встановлюється місцезнаходження передбачуваного пожежі та вживаються заходи щодо його ліквідації.

Аналізуючи традиційну практику виявлення лісових пожеж, стає очевидною необхідність застосування засобів, що дозволяють виявляти пожежа на ранній стадії з метою підвищення пожежної безпеки, мінімізації можливих збитків і скорочення ресурсів, що витрачаються на ліквідацію пожеж.

Сьогодні все частіше йдеться про відеомоніторингу, який є логічним розвитком і автоматизацією візуального моніторингу, на жаль, в ряді випадків згадка відеомоніторингу різними виробниками програмного забезпечення та обладнання відеоспостереження є бажанням "відкусити" частину цього ринку.

Для підтвердження заявлених функцій і характеристик систем замовнику слід проводити запуск пілотних проектів та проведення тестових випробувань. Тільки такий підхід може дати впевненість в тому, що встановлюється система здатна вирішувати поставлені перед нею завдання.

Раннє виявлення, пожежна відеоаналітика, в даний час вже встановлені і успішно експлуатуються відеосистеми дистанційного моніторингу лісових пожеж на основі систем відеоспостереження з комп'ютерним зором. Такі системи дозволяють на ранній стадії виявляти і оперативно реагувати на осередки задимлення і загоряння в лісах.

Основні переваги виявлення загоряння на основі систем відеоспостереження з комп'ютерним зором такі:

- виявлення загоряння відбувається в момент його виникнення;
- виявлення вогню і диму здійснюється на відкритих просторах;
- передача відеоінформації з місця виявлення загоряння проводиться автоматично в реальному часі;
- напрямок вогнищ загоряння визначається в залежності від напрямку оптичної осі відеокамер - завдяки цьому можна розрахувати відстань до вогнищ загоряння;

- в системі застосовується самодіагностика працездатності, передбачена можливість перевірки спрацювань шляхом "тестових займань";
- можливе застосування бездротових каналів зв'язку (наприклад, 3G); можлива передача даних у єдиний моніторинговий центр.

Системи дистанційного моніторингу лісових пожеж на основі систем відеоспостереження з комп'ютерним зором складаються з вузлів моніторингу - керованих високошвидкісних купольних відеокамер, зазвичай встановлюються на вишках (провайдерів зв'язку, операторів стільникового зв'язку, телевізійних, освітлювальних і т.д.), і локальних моніторингових центрів. У ці центри надходить інформація від відеокамер.

Як детектор загоряння і задимлення використовується поворотна відеокамера, яка виконує панорамне сканування в автоматичному режимі з можливістю ручного управління.

В даний час на ринку вже представлені системи, що забезпечують автоматичне виявлення загорянь по відеозображення. Такі системи широко застосовуються для раннього виявлення загорянь всередині приміщень, а також на відкритих просторах і неодноразово демонструвалися на форумі All-over-IP.

Застосування алгоритму технології комп'ютерного зору в системі дистанційного моніторингу лісових пожеж дозволить в реальному часі в автоматичному режимі виявляти загоряння і попереджати про них оператора.

Такі системи дозволяють визначати місця виникнення загорянь, а також оперативно і правильно направляти пожежні розрахунки. При автоматичному виявленні загорання або задимлення система визначає координати місця виникнення пожежі та зазначає їх на відео аналітичній карті місцевості.

Широке впровадження відео системи дистанційного моніторингу лісових пожеж на основі системи відеоспостереження з комп'ютерним зором дозволить оперативно реагувати на виникнення пожеж, істотно знизити ризик надзвичайних ситуацій в лісосмузі, дасть можливість скоротити час реагування і ефективно протидіяти збільшенню масштабів загорянь.

2.4. Система виявлення потенційно небезпечних об'єктів «Лісовий Дозор»

Нижегородська компанія «ДіСіКон» розробила інформаційну систему моніторингу лісу «Лісовий Дозор» для попередження та раннього виявлення лісових пожеж. Також у 2016 році вони стали переможцями першого регіонального конкурсу «ІТ-проект року 2016», посівши перше місце в номінації «Кращий ІТ-проект для забезпечення безпеки».

Система «Лісовий Дозор» використовує таку перевагу методу візуального моніторингу як раннє виявлення і виключає його недоліки, завдяки чому має можливість використання будь-яких вишок, автоматизації та мінімізації кількості людей, що беруть участь в процесі моніторингу. Крім того, система «Лісовий Дозор» - це інформаційна система, в яку легко можуть бути інтегровані дані, що надходять з різних джерел (систем супутникового моніторингу, від населення та ін.) На відміну від космічного авіа моніторингу, система «Лісовий Дозор» дозволяє здійснювати моніторинг в реальному часі 24 години на добу 7 днів на тиждень. До того її експлуатація істотно дешевше використання авіації і оперативніше супутникового моніторингу.

Найбільш докладно зупинимося на процесі автоматизації процесу виявлення потенційно небезпечних об'єктів, так як саме він забезпечує можливість роботи одного оператора з великою кількістю точок моніторингу (15-20), якщо це необхідно.

Досвід показує, що відеозображення, одночасно передаються з 4 камер, забезпечують надійну роботу оператора (ця ідея реалізована в системі "Лісовий Дозор"). Однак очевидно, що при більшій кількості камер оператор не зможе оперативно здійснювати моніторинг фізично.

Виходячи з реальних характеристик системи визначено, що на огляд користувачем однієї камери йде 10 хвилин. Відповідно в 4-екранному режимі за 10 хвилин оператор огляне 4 камери.

Якщо число камер в системі досягає 20-ти, то для виявлення пожежі

користувачеві буде потрібно близько 40 хвилин (при безперервному спостереженні). Але оператору необхідно відпочивати і виконувати інші операції (визначати координати і т. п.). Досвід показує, що до згаданих 40-ка хвилин цей крок додає ще 20 хвилин. Ці розрахунки підтверджуються результатами реальної роботи системи. Таким чином, отримуємо еталонне значення: один оператор системи "Лісовий Дозор» протягом години може здійснювати моніторинг з 20 точок навіть без автоматизації процесу виявлення ПОО (по відеоданих-ним).

Що стосується автоматизації процесу пошуку ПНО на відеозображенні, то вона дозволяє або збільшити кількість камер на одного оператора, або зменшити час, необхідний для виявлення ПНО, або полегшити роботу оператора.

Очевидно, що ці параметри залежать один від одного: наприклад, неможливо збільшити кількість камер на одного оператора, не збільшивши час, необхідний на огляд.

В даний час в системі "Лісовий Дозор» починає активно використовуватися модуль автоматичного пошуку диму, який призначений для виявлення потенційно небезпечних об'єктів на відео зображенні. Його суть полягає в запуску спеціального модуля, що формує список потенційно небезпечних об'єктів, виявлених системою.

При такому режимі роботи користувачу не треба стежити за всіма камерами по черзі - достатньо лише своєчасно переглядати список виявлених об'єктів.

Тестування системи на великому архіві відеоданих (більше 10000 записів) показало наступне.

Кількість необхідної для аналізу користувачем інформації зменшується в 5 разів, так як система вже відфільтровує велика кількість відеоданих, на яких немає нічого, вартого уваги. Фактично вищезгаданий алгоритм призначений для фільтрації даних, які не цікаві оператору - це дозволяє йому зосередитися на аналізі більш суттєвої інформації.

Виходячи з простого розрахунку видно, що кількість камер на одного оператора при колишній навантаженні може становити 100 одиниць. Це вже є

істотним показником, але потенціал подальшого поліпшення параметра зберігається.

Використання даного режиму роботи не означає, що система покаже оператору тільки дані, де реально є дим (система не може гарантувати повну відсутність помилкових спрацьовувань). Досить велика кількість відеоданих нічого очікувати утримувати ПНО, але з новим режимом цих даних буде в 5 разів менше, ніж без нього. У перспективі планується збільшити це значення до 100 разів.

Подальші плани розробки і автоматизації в рамках системи "Лісовий Дозор":

- Велика автоматизація процесу визначення координат.
- Велика автоматизація процесу побудови маршрутів патрулювання.
- Поліпшення характеристик системи виявлення ПНО на відеозображенні.
- Автоматизація зв'язків між різними стадіями процесу, що забезпечує максимальне розвантаження оператора і залишає на нього тільки процес прийняття рішення.

Всі ці поліпшення вже включені в план розробки. Усі замовники, які використовують сервіс "Лісовий Дозор", отримають доступ до всіх нововведень без будь-якої додаткової плати.

2.5 Центральна база авіаційної охорони лісів

Федеральне бюджетна установа «Центральна база авіаційної охорони лісів» Авіалісоохорона»: 30 червня 2014 відзначила свій 65-річний ювілей. Щороку з цих 65 років є яскравою сторінкою історії не тільки лісового господарства.

Основа становлення авіаційної охорони лісів була закладена вітчизняної лісової наукою ще на початку XX століття, коли був чітко сформульований головний принцип ефективної боротьби з лісовими пожежами: для зменшення наслідків і витрат на гасіння необхідно забезпечити їх виявлення і ліквідацію на самих ранніх стадіях. У нашій країні з її величезними важко доступними

лісовими просторами реалізація цього принципу стала можливою тільки завдяки застосуванню авіації. Перший політ з метою виявлення лісової пожежі відбувся в Горьківській області 7 липня 1931 на літаку У-2. Ця дата вважається днем народження авіалісохорони. У 30-ті роки ХХ століття виникли унікальні професії: льотчик-спостерігач і парашутист-пожежник. Професія десантник-пожежник з'явиться пізніше, в середині ХХ століття з впровадженням в авіалісохорону вертольотів. Слід зазначити, що авіаційна охорона лісів була припинена в роки Великої Вітчизняної війни. У 1944 році був збільшений парк повітряних суден, що охороняється площа лісів і чисельність особового складу.

У 1949 році Міністерством лісового господарства СРСР за розпорядженням Ради Міністрів були створені 7 госпрозрахункових баз авіаційної охорони лісів: Центральна, Північна, Уральська, Західно-Сибірська, Іркутська, Якутська і Приморська. Усі наступні утворення нових авіабаз відбуватиметься за рахунок розукрупнення раніше створених.

У 1958 році на Центральну базу авіаційної охорони лісів було покладено забезпечення централізованого керівництва і координація роботи всієї системи авіаційної охорони лісів Радянського Союзу.

Завдяки ентузіазму, самовідданій праці працівників авіалісохорони була створена одна з найефективніших в світі систем охорони лісів. Налагоджувалися і зміцнювалися міжнародні зв'язки з багатьма зарубіжними країнами. Багато технологій, що використовуються в даний час іншими російськими відомствами, почали застосовуватися саме в авіалісохороні, розроблялися за активної участі її фахівців. Це і штучне викликання опадів, і десантування людей на спускових пристроях з бортів вертольотів, і використання літаків-танкерів, і водозливних пристроїв.

У 2005 році за технічними завданнями та при безпосередній участі фахівців Центральної бази авіаційної охорони лісів запрацювала інформаційна система дистанційного моніторингу ІСДМ-Рослесхоз, що дозволяє проводити моніторинг лісових пожеж та лісопожежної обстановки в масштабах всієї країни в режимі реального часу. Унікальною особливістю ІСДМ-Рослесхоз є інтеграція

в одному ГІС-інтерфейсі комплексної інформації: картографії, даних космічного зондування землі (супутникової зйомки), метеоінформації, даних про блискавичних розрядах, про розташування спеціалізованих установ з охорони лісів, а також оперативної і статистичної звітності суб'єктів Російської Федерації і архівної тематичної інформації.

В результаті адміністративної реформи 2006 року, спрямованої на розширення прав суб'єктів Російської Федерації, повноваження з охорони лісів від пожеж були передані регіонам. З метою забезпечення контролю федерального центру за лісопожежною обстановкою в Росії і надання допомоги регіонам, в 2011 році Федеральним агентством лісового господарства в структурі Центральної бази авіаційної охорони лісів був створений резерв парашутно-десантної пожежної служби, а в 2012 р - Федеральна диспетчерська служба лісового господарства .

Федеральна диспетчерська служба лісового господарства, і парашутно-десантна пожежна служба ФБУ «Авіалесоохрана» входять до складу функціональної підсистеми охорони лісів від пожеж та захисту їх від шкідників (РСЧС ліс) Єдиної державної системи попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій.

В рамках диспетчеризації лісового господарства вертикаль проходження інформації про площі, динаміці розвитку лісових пожеж, вжиті заходи до ліквідації починається з диспетчерських служб лісництв, звідки дані надходять в регіональні диспетчерські служби лісового господарства, передають увесь потік інформації в Федеральну диспетчерську службу, де забезпечується контроль не тільки за горимо лісів Росії, але і за достовірністю представленої регіонами інформації. Такі можливості Федеральна диспетчерська служба лісового господарства має завдяки роботі інформаційної системи дистанційного моніторингу - ІСДМ-Рослесхоз.

У 2012 році на базі Федеральної диспетчерської служби лісового господарства почала працювати Пряма лінія лісової охорони. Тепер за єдиним безкоштовним номером будь-яка людина може повідомити оператору Прямої

лінії про всі події або порушення в лісі -пожежі, рубки, звалища, незаконні споруди, осередки шкідників. Отримана інформація негайно передається фахівцям всіх зацікавлених відомств.

На основі постійного аналізу та прогнозування лісопожежної обстановки, що проводяться Федеральної диспетчерською службою, і звернень Урядів регіонів за допомогою в стабілізації обстановки, Федеральне агентство лісового господарства приймає рішення про застосування для боротьби з пожежами команд парашутно-десантної пожежної служби ФБУ «Авіалісоохорона».

У період з 2011 по 2018 роки парашутисти-пожежні і десантники-пожежники федеральної авіалісоохорони надавали дієву допомогу в гасінні лісових пожеж в умовах НС регіонах Далекосхідного, Сибірського, Уральського, Північно-Західного, Центрального, Південного округів. В ході ліквідації лісових пожеж запобігли перехід вогню на населені пункти і об'єкти економіки, в т.ч. великі лінії електропередач, сховища паливно-мастильних матеріалів, аеропорти.

У 2016 році ФБУ "Авіалісоохорона" були повернуті повноваження з проведення вибухових робіт і робіт зі штучного викликанню опадів з метою гасіння лісових пожеж. Проведення даних робіт розпочато з 2017 року і здійснюється за рішенням Федерального штабу з координації діяльності по гасінню лісових пожеж.

Важливим напрямком роботи «Центральної бази авіаційної охорони лісів» є підготовка фахівців для контролю лісопожежної обстановки і боротьби з лісовими пожежами. У структурі установи працює авіаційний навчальний центр, який здійснює підготовку за більш, ніж 10 програмами, в т.ч. льотчиків-спостерігачів, інструкторів парашутно-десантної пожежної служби, керівників гасіння лісових пожеж. В роботі авіаційного навчального центру використовуються інноваційні технології. Так, тренажерна підготовка льотчиків-спостерігачів проводиться на комплексному тренажері вертольота Мі-8 МТВ, оснащеного програмно-апаратним забезпеченням, що дозволяє моделювати сценарії розвитку лісових пожеж і роботу водозливного пристрою.

Площа лісового фонду Росії становить понад 1,1 млрд га. У зоні активної охорони знаходиться більше половини площі. Моніторинг та гасіння лісових пожеж наземними методами забезпечується на площі близько 90 млн га. Інша частина, а це майже 500 млн. Га. знаходиться в зоні відповідальності авіаційної охорони лісів. Важливо розуміти, що крім традиційно враховується економічного доходу ліс приносить безцінний екологічний дохід, виробляючи кисень, утилізуючи вуглекислий газ, регулюючи водостоки і клімат. Тому ефективно працююча Авіалесоохрана - один з важливих факторів стійкого розвитку держави і суспільства в цілому, як заставу екологічної та економічної стабільності.

2.6. Перша Українська система

Під час тестування система виявляла пожежі у лісах України. Лельчицький район - самий лісистий край Білорусі. Це одна з причин, по якій тут проходить обкатку унікальна система раннього виявлення пожеж.

На пожежно-хімічній станції ГЛХУ «Мілошевічській лісгосп» панує пожежавлення. У невеликому черговому приміщенні йдуть останні приготування. Фахівці проводять наладку, звіряють параметри. Називаються цифри, координати, звучать малозрозумілі для непосвяченого людини терміни.

Суть експерименту проста. У кількох місцях лісництв буде влаштовано загоряння. Працівники лісгоспу розкладуть багаття, щоб дим піднявся вище верхівок дерев. Завдання системи - помітити, розпізнати його і подати сигнал. Все під суворим контролем. На кожній точці задимлення виставлені пожежні пости.

Камера відеоспостереження переводиться в режим патрулювання, в якому вона автоматично обертається навколо своєї осі на 360 градусів. Аналіз кожного кадру займає приблизно 20 секунд. Хроніка огляду безперервно фіксується в електронному журналі, дані якого зберігаються на сервері. Поки все спокійно: багаття під наглядом лісників розпалюються, але дим ще не піднявся на

достатню висоту.

Замовником нової системи виступило РУП «Белгослес». А безпосередньо впровадженням займається Гомельське ТДВ «Нові технології». Директор фірми Ігор Талуть пояснює, в чому новизна проекту, що не має аналогів в ближньому зарубіжжі:

Перш за все, унікальна сама ідея - використовувати штучний інтелект для пожежної охорони лісу. Виявивши на горизонті завісу, нейронна система здатна аналізувати її складу, визначаючи чи дійсно це дим, туман або пил. Принцип дії той же, що і у комп'ютерної системи розпізнавання осіб. Якщо, наприклад, ви наділи перуку, приклеїли бороду, то, на погляд іншої людини, зовні змінилися. Однак нейросеть буде ідентифікувати вас інакше: по висоті скул, розрізу очей і іншим геометричним характеристикам особи. Швидше за все, для неї ви залишитеся колишнім. Наша розмова перериває звуковий сигнал. Одночасно з ним на моніторі з'являється повідомлення: «Виявлено задимлення». Система розпізнала білясту завісу, котра піднімається над кронами дерев. Через хвилину співрозмовник показує свій телефон, на який система надіслала фотокадр. Такі повідомлення при виявленні пожежі отримуватимуть і керівні працівники лісгоспу.

Через деякий час виявлений ще один стовп диму. На третій точці вогонь запалювати не стали. Піднявся сильний вітер - вирішили не ризикувати. До слова, коли випробування йде повним ходом, у вартівні оживає радіостанція. На зв'язку - повітряний патруль «Беллесавиа», який з неба помітив дим над лісом. Пілотів запевнили, що ситуація під контролем.

Поруч з новими моніторами тулиться ще один - менше розміром і старше віком. Це пристрій колишньої системи, яка також непогано проявила себе і як і раніше залишається в справі. Правда, тепер їй відводиться другорядна дублююча роль. Одна електронна «голова» добре, а дві, як відомо, краще. Увагу привертає настінна карта із зазначенням азимутів обертання старих камер. У центр кожного кола вбитий гвоздик, до якого прив'язана мотузка з грузиком на кінці. За допомогою цих схилів обчислюється квартал, в якому відмічено загоряння. Втім,

тепер ці маніпуляції ні до чого - нова система видає потрібні дані на монітор. Вогнище спалаху визначається з точністю до півтора кілометрів. Для тисяч гектарів лісових угідь це хороший показник.

Тепер обчислювати вогнище загоряння по карті вже не доведеться. Як свідчить практика, новий помічник лісників здатний виявляти задимлення в радіусі 50 км від вишки. Гострота зору залежить від ландшафту місцевості, погодних умов, технічних параметрів обладнання. Під час роботи в тестовому режимі не обійшлося без дрібних нюансів. Одного разу густий туман взяли за дим пожежі. Але одне з головних достоїнств системи якраз і полягає в здатності вчитися на своїх помилках. Відеозапис, яка спровокувала помилкове спрацьовування, буде проаналізована і внесена в пам'ять машини. Більше конфуз не трапиться.

Власне, в тестовому режимі система вже довела свою ефективність і навіть виявила кілька пожеж. У тому числі на території України, кордон з якою пролягає через угіддя лісгоспу впродовж 84 кілометрів. До речі, нерідко пожежі приходять з того боку. У таких ситуаціях лісова охорона Мілошевічського лісгоспу поспішає на виручку, оперативно і без зайвих формальностей перетинаючи кордон. Угода про такий порядок досягнуто на міждержавному рівні. Допомога добрих сусідів в подібних ПП ніколи не буває зайвою. Інтерес нашого боку також очевидний: краще допомогти українським колегам здолати вогонь на їх території, ніж потім гасити у себе. Три роки тому один з сильних пожеж вдалося зупинити біля самого кордону. А їх у 2015 році було чимало.

Проблема забезпечення безпеки лісів для нас більш ніж актуальна, - зізнається директор ГЛХУ «Мілошевічській лісгосп» В'ячеслав Беруся. Особливо в такі посушливі роки, як нинішній. У сухому лісі пожежа поширюється за лічені хвилини, а то й секунди. За півгодини може запросто згоріти декілька сотень гектарів лісу, особливо якщо вогонь йде по верху. А гасіння боліт і торфовищ часом триває не одну добу. Тому складно переоцінити значимість раннього виявлення вогнищ загорянь.

Поки нововведення впроваджується в двох лісгоспах - Мілошевічском і

Поліському, що знаходиться в сусідньому Столінського районі. Стратегічний задум - підключити до системи всі лісові господарства країни. Це підвищить надійність контролю, виключивши горезвісний людський фактор. Людям залишиться лише оперативно реагувати і перемогти пожежу до того, як він набере силу.

Хоча, звичайно ж, одними лише технічними засобами проблему не вирішити. Багато що залежить від поведінки тих, хто ходить в ліс. Лісівники наголошують: рівень свідомості та культури громадян в останні роки стає вище однак працювати ще є над чим.

2.7. Патентний пошук рішень передачі даних

Пошук розпочато на електронному сервісі “Укрпатент”.

Знайдено патент (номер патенту 82791 та МПК G01R 11/00 (2006.01)) на корисну модель під назвою « СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ »

Система контролю комунальних послуг належить до вимірювально-обчислювальної техніки і може бути застосована у комунальному господарстві для споживачів побутових послуг. Система включає датчик напруги, датчик струму, датчики гарячої води, холодної води та газу, перетворювач, блок управління, блок датчика, контролер, рідкокристалічний дисплей, передавач, три гальванічні ізоляційні блоки, адресуючий блок та блок допиту датчика. Він також включає в себе блок управління напругою, датчик тиску гарячої води і блок управління тиском гарячої води, датчик температури гарячої води і блок регулювання температури гарячої води, датчик тиску холодної води і блок управління тиском холодної води, тиск газу датчик та блок управління тиском газу, датчик температури газу та регулятор температури газу. Система дозволяє автоматично визначати якість і кількість наданих кожному споживачу послуг, що підвищує достовірність і об'єктивність обчислення оплати за надані послуги.

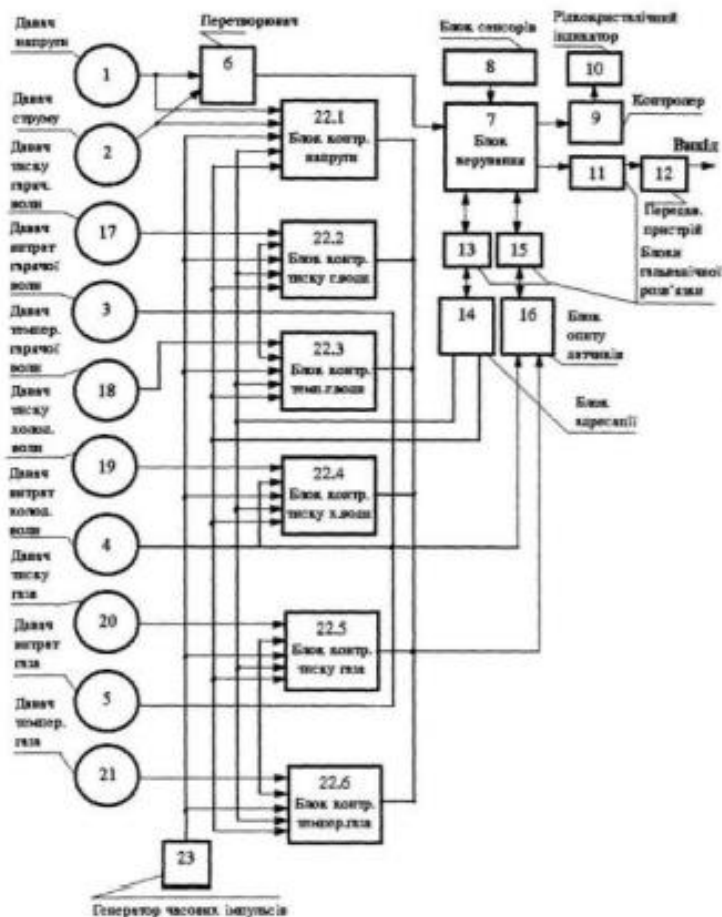


Рисунок 2.1 - СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ

Перевагами даного технічного рішення є велике охоплення комунальних потреб та принцип організації системи. Запропонована система контролю комунальних послуг дозволяє автоматично визначати кількість та якість комунальних послуг, розраховувати оплату за спожиті комунальні послуги відповідно їх кількості та якості в кожній окремій квартирі.

До недоліків можна віднести складну масштабованість системи та відсталість технології поєднання сенсорів у мережу.

Знайдено патент (номер патенту 81054 та МПК G08B 19/00 (2006.01)) на корисну модель під назвою « СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ІНФРАСТРУКТУРОЮ БУДИНКУ "РОЗУМНИЙ ДІМ" »

Корисна модель заснована на вдосконаленні системи управління інфраструктурою будинку «Розумний дім», в якій зміна служби управління

дозволяє автоматично керувати інженерним обладнанням будинку без безпосередньої присутності людини та надає оперативну інформацію про стан об'єкта, що перевіряється. всі елементи системи за будь-яких умов, з мінімальною кількістю обладнання та мінімальними витратами.

Ця проблема вирішується тим, що в домашній системі управління інфраструктурою «Розумний дім», що включає датчики, відеокамери та виконавчі механізми, підключені до сервера управління, корисна модель використовує принаймні один шлюз з бездротовим приймачем як сервер управління, і доступ надається до мережі Ethernet, а Інтернет підключається до хмарного сервера, тоді як система налаштована на реєстрацію пристроїв та налаштування алгоритмів, необхідних для їх взаємодії, за допомогою служби WEB на хмарному сервері, а потім передає конфігурацію шлюзу.

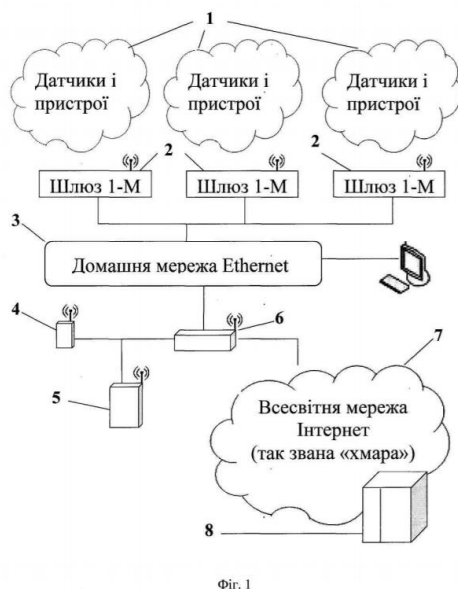


Рисунок 2.2 - СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ІНФРАСТРУКТУРОЮ БУДИНКУ
“РОЗУМНИЙ ДІМ”

Перевагами даного технічного рішення є орієнтація на керування системою по мережі Internet та можливість реєстрації нових датчиків в системі.

Недоліком можна назвати недостатню увагу до технологій поєднання самих датчиків у мережу, та відсутність обґрунтування вибору радіоканалу та аналізу його пропускну здатності, завадостійкості та максимальній відстані зв'язку.

Пошук продовжено у системі Рос. Патенту - «fips.ru».

Знайдено патент (номер патенту RU 2694789 C1 та МПК G01R 19/00

(2006.01)) під назвою « Універсальний автономний бездротовий вимірювач-комутатор контролерів і датчиків з цифровими та аналоговими виходами »

Винахід призначений для вимірювання, перетворення і управління сигналами від контролерів і датчиків та інших приладів з подальшою передачею по мережі LoRaWAN. Бездротовий вимірювач для вимірювання, перетворення і управління тиску в цифровий сигнал з подальшою передачею по мережі LoRaWAN містить прилад вимірювання з вихідним струмом сигналу струмова петля. Пристрій додатково містить перетворювач інтерфейсів RS-485, RS-422, RS-232, Modbus. Технічне рішення дозволяє підключатися до будь-якого виду датчиків, головне - щоб вихідний сигнал датчика був 4-20 мА. І передавати будь-який вид параметра (тиск, температура, рівень, вібрація, витрата, кут відкриття засувки) в мережу LoRa.

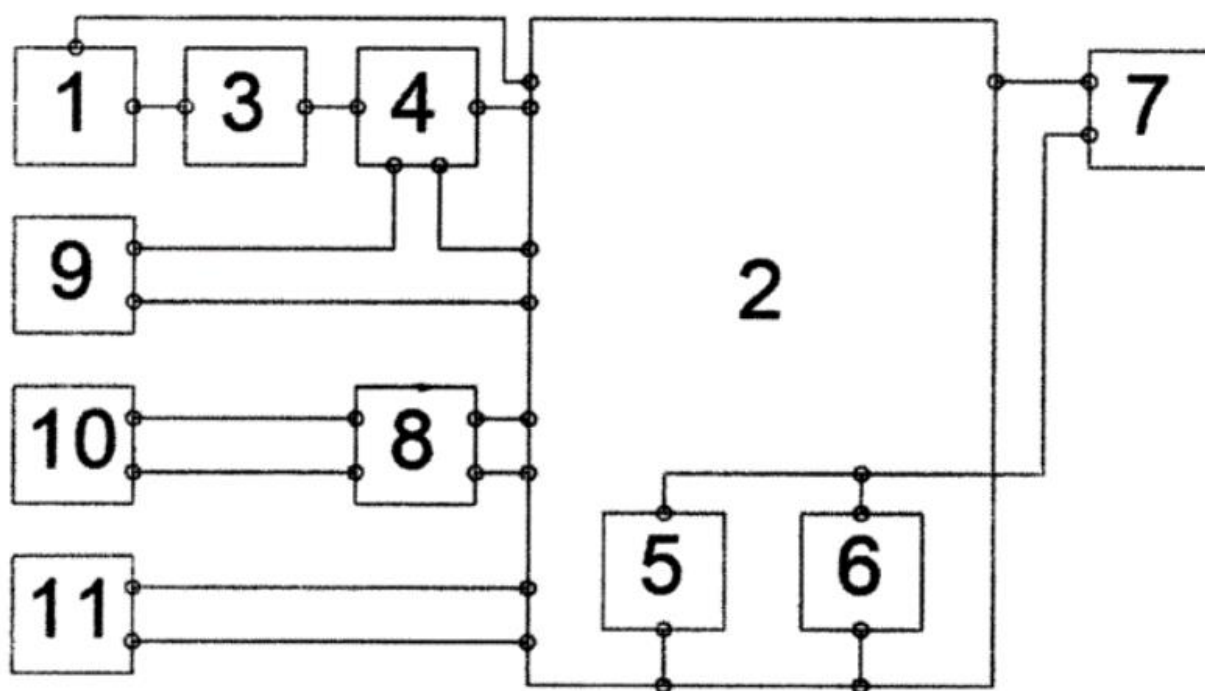


Рисунок 2.3 - Універсальний автономний бездротовий вимірювач-комутатор контролерів і датчиків з цифровими та аналоговими виходами

Безсумнівними перевагами цього технічного рішення є використання низько споживаючої технології передачі з широким каналом зв'язку LoRa, котрий відрізняється ще й тим, що стандарт зв'язку LoRa є завадостійким та може працювати нижче рівня шуму.

Недоліком є відсутність можливості передавати, обробляти та зберігати дані з датчиків на віддалених серверах та будь-яким чином керувати системою

віддалено через мережу Internet.

Наступний пошук виконувався на електронному сервісі USPTO.

Знайдено патент (номер патенту US 20180252424 A1 та МПК F24F 11/74 (2018.01)) під назвою «System and method for aggregation, archiving and compression of internet of things wireless sensor data / Система та спосіб компресії, агрегації та архівування даних Інтернету речей, що надходять від датчиків»

Галузь виробу стосується програм, які обробляють велику кількість даних, отриманих в результаті програм Internet of Things в мережах бездротової сенсорної мережі (WSN) та мережах широкої смуги з низькою потужністю (LPWAN).

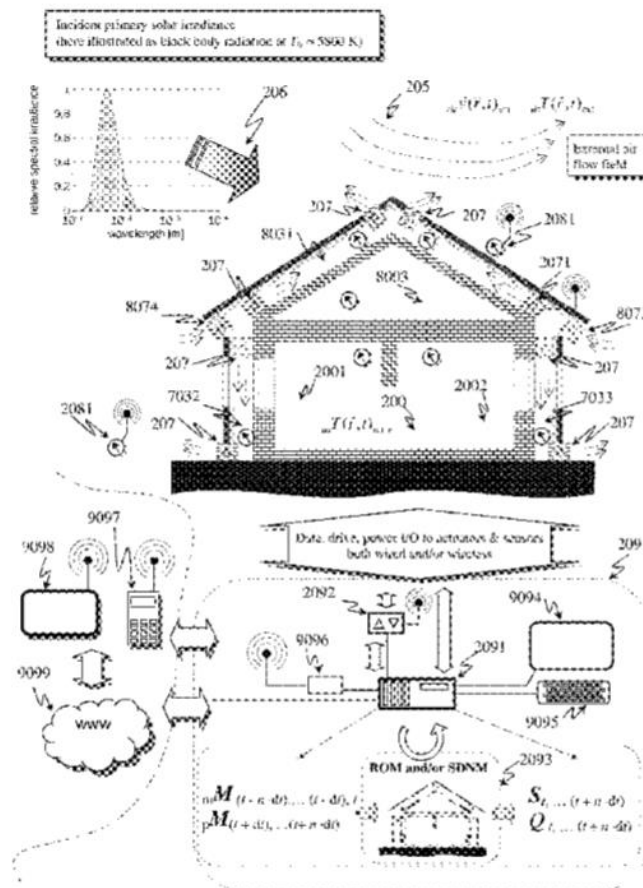


Рисунок 2.4 - Система та спосіб компресії, агрегації та архівування даних Інтернету речей, що надходять від датчиків

Дане технічне рішення є корисним для розуміння проблеми збереження та обробки масиву даних, що будуть надходити від датчиків «розумного дому».

Знайдено патент (номер патенту US 20190098400 A1 та МПК H04R 3/005 (2013.01)) під назвою «Connection method for smart home device and apparatus thereof/ Спосіб з'єднання для розумного домашнього пристрою з його базою»

Надається спосіб підключення пристроїв розумного будинку. Спосіб підключення користувацького обладнання до пристроїв розумного дому може включати: ідентифікацію, коли виявлено запит на з'єднання для пристрою розумного дому, прийом першого широкомовного повідомлення, що відповідає першому режиму зв'язку; перевірка, після отримання першого широкомовного повідомлення, чи містить перше широкомовне повідомлення інформацію, яка вказує на підтримку функції розумного дому, що відповідає першому режиму зв'язку; і підключення до пристрою розумного дому відповідно до першого режиму зв'язку або другого режиму зв'язку на основі результату перевірки.

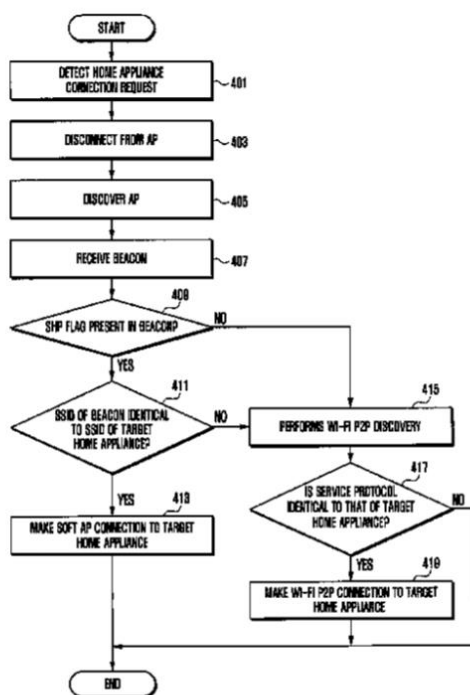


Рисунок 2.5 - Спосіб з'єднання для розумного домашнього пристрою з його базою

В даному технічному рішенні описано протокол зв'язку по якому пристрої будуть з'єднуватись з центральним розподільчим вузлом, що буде взято за основу роботи датчиків.

Далі було опрацьовано патенти на електронному сервісі WIPO patentscope.

*Знайдено патент (номер патенту 2018137153 та МПК G01F 1/00)
«счетчик газа с функцией дистанционного контроля на базе технологии LoRa»*

Корисна модель відноситься до приладів обліку витрати газу і може використовуватися в автоматизованих системах дистанційного контролю і обліку споживання газу. Технічний результат, на досягнення якого спрямована корисна модель, полягає в забезпеченні можливості дистанційної передачі даних при низькому енергоспоживанні в умовах щільної міської забудови. Для досягнення зазначеного технічного результату лічильник газу з функцією дистанційного контролю на базі технології LoRa, що містить корпус, розміщені в корпусі генератор і п'єзоперетворювач, послідовно з'єднані приймальний підсилювач, компаратор і мікропроцесор, вихід якого пов'язаний з рідкокристалічним індикатором, додатково містить модем LoRa з антеною, при цьому п'єзоперетворювач виконаний вбудованим в генератор, мікропроцесор включає частотомір, обчислювач об'ємної витрати і модуль обробки протоколу LoRaWAN.

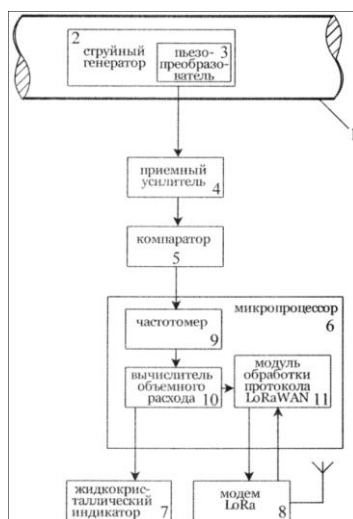


Рисунок 2.6 - Блок схема пристрою

Цей патент розкриває можливості передачі та прийому даних технології LoRa в щільній міській забудові, на яку і орієнтовано моє дослідження. Недоліком є відсутність можливості передачі даних через інтернет.

Висновок

Було проведено дослідження шести патентів та проаналізовані переваги та недоліки кожного методу. Загалом я отримав цікаву та безсумнівно корисну інформацію по наступних темах: методи контролю комунальних послуг, способи

поєднання датчиків у систему, шляхи зберігання та обробки інформації на віддалених серверах, та конструкція вже існуючих датчиків розумного будинку.

З досліджених патентів було зроблено висновок, що технологія LPWAN та mesh-мережі найбільше підходять для з'єднання датчиків у спільну мережу, по причині закладеної в основу технології завадостійкості та великого радіусу зв'язку, що може дозволити покрити велику площу міста мережею та дозволить з'єднати велику кількість датчиків. Проте не вирішеною залишається проблема передачі отриманих від датчиків даних до користувача, або контролюючого органу (чи прикладної програми, яка обробляє ці дані).

Для вирішення проблеми були проаналізовані патенти засновані на серверних технологіях, та наявні мережі розумного дому. Після аналізу переваг та недоліків усіх рішень, мною було прийнято рішення модифікувати системи датчиків на базі мережі mesh-мережі можливістю передачі даних через мережу інтернет з подальшим зберіганням чи обробкою даних на віддаленому сервері. Для доступу до всесвітньої павутини можна використати Ethernet або вбудований Wi-Fi модуль з доступних на ринку.

РОЗДІЛ 3. Mesh –мережі та LPWAN системи

3.1. Переваги та недоліки Mesh-мереж

Wi-Fi на сьогоднішній день присутня просто всюди і навіть з приходом нових технологій поширення сигналу від Wi-Fi ніхто не відмовляється, а навпаки він ще більше поширюється. Але мало хто звертає увагу на те, що далеко не кожен маршрутизатор може впоратися з домашньою, а тим більш публічною мережею. Навіть в однокімнатній квартирі можна відчувати проблеми з сигналом і швидкістю з'єднання. А якщо площа стає більше, то проблеми з цим тільки нарастають. Найбільш очевидний для багатьох вихід - це покупка могутнішого роутера. Але є й інший вихід - це звернути увагу на Mesh-системи, що з кожним днем все більше набирають популярність.

Стандартні маршрутизатори виконують функції по елементарному принципу. Роутер підключений до мережі, а до самого роутера підключаються клієнти. Вони задіюють маршрутизатор, щоб передавати дані між собою і мати доступ до Інтернет. У таких випадках швидкість буде визначена саме заданими пристроєм технічними характеристиками. Також на якість впливатиме відстань, присутність тих чи інших перешкод і кількість підключених пристроїв. І завжди в будинку буде таке місце, де сигнал на стільки слабкий, що їм взагалі не можна скористатися, а то і взагалі пропадає.

Такі проблеми можна вирішити покупкою Wi-Fi репітерів, прокладанням окремого кабеля або використання додаткової точки доступу. Тільки ось кабель створює масу проблем. Їх присутність не естетично, прокладка вимагає ремонту. Також точно так само і використання репітера не завжди допоможе. Адже репітером створюється окрема Wi-Fi мережу. До неї потрібно підключатися окремо вручну або чекати, коли пристрій сам зрозуміє, що це необхідно зробити. Та й швидкість від репітерів завжди нижче, ніж у основного маршрутизатора.

У комерційному сегменті проблеми такі ж, тільки більш масштабні. Тому багато хто використовує Mesh мережі. Чим же Mesh відрізняється від звичайного маршрутизатора? Вся справа в тому, що Mesh-мережа це не один пристрій, а

кілька. Кожен окремий елемент відповідає за свою площу, де стежить за підключеними клієнтами і надає їм доступ до Internet. Що цікаво, так це те, що безпосередньо до Інтернет потрібно підключати тільки головний модуль (базу). Решта модулі підключаються до головного модулю для отримання доступу і роздачі його приєднаним клієнтам. Wi-Fi мережу в такому випадку створюється єдина для всієї сумарної площі від всіх модулів.

В Mesh-мережах аналізується кожна зв'язок між модулями. Самі модулі обмінюються даними про всі підключених клієнтів. І саме сама мережа вирішує, до якого модулю підключити клієнта, щоб у нього був найкращий сигнал. До того ж передача даних між гаджетами всередині мережі може відбуватися і без участі головного модуля. Висока швидкість доступу до Internet зберігається за рахунок того, що в Mesh-рішеннях присутній окремий канал для обміну інформацією між собою, тому інформація направляється по найбільш короткому шляху. Як бачите, можна порівняти з тим, що Mesh-мережі складаються з пов'язаних між собою маршрутизаторів.

Головна перевага Wi-Fi Mesh-мережі в тому, що це найпростіший спосіб розгортання швидкої Wi-Fi мережі на великих площах, який не вимагає прокладки кабелю і особливих знань. Все, що знадобитися, так це наявність електричних розеток для подачі живлення модулів і будь-який смартфон зі спеціальним додатком для початкової настройки мережі.

Рішення для дому надають можливість поєднати в одну мережу до десяти модулів. Так можна покрити Wi-Fi не тільки великий будинок, але і прибудинкову територію. Пристрої працюють самі по собі. Як тільки буде додано новий модуль, мережа його побачить і задасть потрібну конфігурацію. Що може зручніше такого ось рішення.

Також до переваг Mesh-рішень потрібно віднести простоту настройки, найвищу продуктивність і масштабується покриття. По-суті, кожен окремий модуль є маршрутизатором, тільки у нього на багато красивіше дизайн і він в рази менше звичайного роутера.

Недоліком є те, що немає розширених налаштувань, як у маршрутизаторів.

Тому просунуті користувачі залишаються трохи незадоволені. Також в більшості випадків немає USB-порту, а ще й обмежена кількість LAN-портів.

Найбільш просунутою Mesh-системою TP-Link на сьогоднішній день є Deco P7 . Технічні характеристики аналогічні Deco M5. Відрізняється тим, що оснащена додатковим Powerline інтерфейсом, у якого швидкість приєднання досягає 600 Мбіт/с. З його допомогою можна задіяти звичайну електропроводку з метою передавати інформацію між модулями. Це дозволяє розміщувати модулі на багато далі один від одного і таким чином створювати Wi-Fi мережі на значно більших площах.

3.2. Архітектура Mesh-мереж із визначенням сильних та слабких сторін

Звичайні роутери працюють за простим принципом. Клієнти підключаються до роутера, підключеному до інтернету, використовують його для передачі даних між собою і доступу до глобальної мережі. Швидкість в цьому випадку визначається технічними характеристиками пристроїв і залежить від відстані між ними, наявності перешкод і інших чинників. Як правило, в будь-якому приміщенні знайдеться місце, де якість сигналу падає настільки, що загальна швидкість стає некомфортною.

Wi-Fi-ретрансляція або прокладка кабелю для підключення клієнта або установки окремої точки доступу можуть вирішити проблему, але лише частково. Кабель - це не завжди зручно, а ретрансляція створює окрему Wi-Fi-мережу, ретранслює сигнал основної - підключатися до неї потрібно або вручну, або чекати, коли пристрій зрозуміє, що варто перемкнутися. Більш того, швидкість доступу при підключенні через репітер майже завжди нижче, ніж в основної мережі при хорошому сигналі.

Розробники комерційних рішень стикаються з тими ж проблемами, просто в більшому масштабі і вже давно використовують пористі (Mesh) мережі. Більш того, на самому ділі кожен з нас постійно користується найбільшою Mesh-мережею, тобто Інтернетом.

Але перш ніж переходити до подібних аналогій, зупинимося на відмінностях в порівнянні зі звичайними роутерами. Mesh-мережа складається з окремих пристроїв, кожне з яких відповідає за підключення клієнтів і передачу даних всередині мережі. До інтернету підключено лише перший модуль (node), але всі вони пов'язані один з одним і кожен створює свою Wi-Fi-мережу, за рахунок чого вирішується проблема якості покриття.

В Mesh-мережі враховуються всі зв'язки між модулями, пристрої обмінюються інформацією про підключених клієнтів, тому мережа сама може вирішити, до якого «ноду» найкраще підключити клієнта. Більш того, передача даних між пристроями всередині мережі не обов'язково повинна йти через головний модуль, а збереження високої швидкості доступу до інтернету досягається за рахунок того, що багато Mesh-рішення мають окремий канал для обміну даними між собою і дані передаються по найкоротшому шляху. Фактично така мережа складається з декількох пов'язаних роутерів - їх можна було б назвати і репітерами, але це вже занадто грубе спрощення.

Переваги Wi-Fi Mesh рішень очевидні - для користувача це один з найпростіших способів створити швидку мережу з відмінним Wi-Fi-покриттям на великій площі, без прокладки кабелів і не вникаючи в суть процесу. Найчастіше вам знадобляться тільки електричні розетки для живлення модулів і смартфон з мобільним додатком для первинної настройки.

«Домашні» рішення дозволяють поєднувати в одну мережу порядку десятка модулів, так що вийде створити мережу і у великому будинку, і на території навколо. Все інше працює само-собою. Наприклад, при додаванні або видаленні модулів мережу сама змінить свою конфігурацію - зручно, якщо ви виявите, що вам потрібно додати ще модуль для розширення мережі.

Покриття, продуктивність і простота настройки - головні переваги Mesh-рішень, але не можна згадати і їх дизайн. Кожен Mesh-модуль по суті є роутером, але часто менше і красивіше класичних пристроїв з аналогічними характеристиками.

Недоліки теж є. Створені з прицілом на простоту використання, Mesh-

системи не можуть похвалитися всіма доступними для звичайних роутерів настройками, що може стати обмеженням для просунутих користувачів.

Аналогічно з проводовим підключенням пристроїв. Хоча кожен модуль і є аналогом роутера, він не може похвалитися великою кількістю LAN-портів, а USB-порти зазвичай просто відсутні - якщо вирішите купити принтер, то доведеться дивитися на моделі з Wi-Fi-модулем або використовувати його тільки з одним комп'ютером.

3.3. Mesh системи в порівнянні із роутерами

Mesh вузли підтримують	Роутери підтримують
автоматичний вибір найменш завантаженого каналу в радіодіапазоні для досягнення оптимальної роботи	зміна ширини смуги
прості у використанні функції батьківського контролю	стандарти спрямовані на адаптацію роумінгу: 802.11k, 802.11r, 802.11v підтримка динамічного DNS для підключення з зовнішньої мережі до "сірого" IP
розгортання гостьових мереж	параметри брандмауера та маркування пакетів;
настройку пріоритетів пристроїв і трафіку	параметри швидкості і потужності бездротової передачі
налаштування параметрів перекидання і переадресації портів	можливість використовувати сторонні прошивки WRT для підвищення продуктивності та моніторингу мережі.
безпеку бездротової мережі	
підтримка MU-MIMO	

Але при цьому відсутні розширені параметри управління мережею, які ви отримуєте з традиційним роутером.

Багато традиційних роутери не зможуть покрити по-справжньому великий будинок з кількома поверхами і товстими стінами. Крім того, якщо вас цікавлять функції smart-home і просте дистанційне керування через мобільні додатки, mesh пристрої можуть вас зацікавити.

З іншого боку, якщо ви живете в невеликому будинку чи квартирі і маєте справу з постійно падаючим Wi-Fi, то, ймовірно, варто пройти повз mesh маршрутизаторів і скористатися простим розширником або потужним

маршрутизатором.

Існує безліч бездротових мережевих продуктів, які допоможуть поліпшити домашню Wi-Fi мережу, тому для початку обміркуйте ваші потреби в цій області, щоб точно визначити, яке рішення найкраще підійде саме для вашого будинку.

Основні плюси в порівнянні з роутерами: велике покриття Wi-Fi мережі і безшовна бездротова мережа (безшовний роумінг) . Дуже просто розширювати Wi-Fi мережу за рахунок установки додаткових модулів. Проста настройка та цікавий зовнішній вигляд.

Мінуси в порівнянні з роутерами: ціна так як коштують такі системи не дешево. Але вони тільки починають з'являтися на нашому ринку, так що ціна буде падати.

3.4. LPWAN і інші бездротові технології

В основі межмашинного спілкування лежить принцип обміну невеликими за обсягом пакетами даних. Так, наприклад, датчику диму необхідно передати сигнал тривоги в момент виявлення задимлення і результат щоденної самодіагностики диспетчеру - один біт інформації. Те ж саме відбувається і в разі датчиків в системах контролю протікання води. Показання приладів обліку води, електрики, тепла, газу, а також датчиків вологості і температури можуть бути «запаковані» в кілька біт.

Швидкість передачі даних LPWAN-радіоканалу залежить від конкретної задачі і, як правило, становить від кількох біт до декількох сотень біт в секунду. Потреби в високій пропускну здатності каналу зв'язку немає. Це, в свою чергу, відкриває ряд можливостей для покращення інших, не менш важливих параметрів мережі.

Економія на обсязі переданої інформації дозволяє збільшити енергетику радіосигналу і, як наслідок, значно підвищити енергетичний потенціал каналу зв'язку. Висока енергетика використовується для збільшення дальності передачі

сигналу і підвищення його проникаючої здатності.

В результаті дальність передачі даних в мережі LPWAN в кілька разів перевищує дальність дії мережі і становить від декількох кілометрів до декількох десятків кілометрів. Так, наприклад, радіус дії базової станції «Стриж» в межах міста перевищує 10 км, а за межами міста обмежується видимістю горизонту і становить в середньому 50 км. Нескладно порахувати площа покриття: в міських умовах - понад 300 кв. км, на відкритій місцевості - близько 8 000 кв. км.

Виграш в дальності дії однієї базової станції дозволяє охоплювати великі площі меншою кількістю станцій, що, в свою чергу, скорочує витрати на інфраструктуру і обслуговування мереж LPWAN.

Завдяки високій проникаючої здатності LPWAN-мережу стабільно працює в умовах щільної міської забудови. Радіосигнал легко долає стіни будівель, пристрої можуть працювати навіть з підвалів або комунікаційних шахт будівель. Це важливий параметр, оскільки, наприклад, лічильники води часто встановлюються в стояках, куди не завжди проникає сигнал GSM, а значна частина інженерних комунікацій багатоквартирних будинків або промислових підприємств знаходиться нижче рівня землі, в колодязях або підвалах будівель.

Чим менше базових станцій, тим краще, так як через це знижуються витрати на підтримку мережі. Але з іншого боку, значно зростає навантаження на кожен окрему станцію. Пропускна здатність базової станції - це ключовий параметр в мережах LPWAN, якщо говорити про великих мережах в межах міста або області.

Наприклад: таке місто, як Київ, налічує сотні тисяч вишок стільникових операторів, які забезпечують повне покриття столиці, а у випадку з LPWAN-мережею кількість станцій, достатню для її повного покриття, обмежується кількома десятками, від 40 до 100. У такому випадку кожна станція повинна витримувати навантаження в кілька сотень тисяч різних «розумних» приладів обліку, датчиків і сенсорів[18].

Беручи до уваги високі вимоги до потужностей станцій, «Стриж» застосовує технології паралельної обробки радіосигналу за допомогою

високопродуктивних процесорів. Такий підхід забезпечує велику ємність LPWAN-мережі, в якій кожна станція може обробляти дані з мінімум 2 млн «розумних» пристроїв[18].

Пристрої здатні працювати в мережах LPWAN протягом багатьох років. Їх автономність дозволяє значно скоротити експлуатаційні витрати, адже постійна заміна джерел живлення - дороге задоволення, а прокладка слабкострумів кабелів далеко не завжди виправдана. Наприклад, у датчиків парковки, вмонтованих в дорожнє полотно, немає можливості змінювати джерело живлення кожні кілька днів.

Велика автономність досягається, з одного боку, за рахунок використання високоемнісних акумуляторів, не схильних до саморозряду, а з іншого - за рахунок низького енергоспоживання.

В процесі передачі даних пристрій споживає близько 50 мА протягом декількох секунд. Цього часу достатньо для передачі даних в мережу. Весь інший час прилад знаходиться в сплячому режимі, споживаючи кілька мікроампер. Який результат? Акумуляторна батарея AA-типу працює протягом 10 і більше років, знижуючи вартість обслуговування до мінімуму.

Час затримки при передачі сигналу не є ключовою вимогою в LPWAN-мережах і становить кілька секунд. Як правило, додатки IoT і M2M не чутливі до затримки в передачі інформації. Посудіть самі: не критично, якщо показання лічильника води або датчика вологості потрапляють в особистий кабінет диспетчера тільки через кілька секунд після зчитування їх сенсором.

Бездротовий сегмент LPWAN-мережі використовує топологію «зірка». Всі пристрої посилають дані безпосередньо на базові станції.

Топологія «зірка» дає незаперечну перевагу для «розумної» мережі: таким чином навмисно виключаються складності, пов'язані з використанням mesh-протоколу, який, крім низької надійності, провокує додатковий витрата енергії на передачу даних між пристроями.

«Розумні» пристрою, такі як прилади обліку, датчики диму або руху, можуть розташовуватися в межах житлових будинків, офісних будівель або

промислових приміщень, але, наприклад, сільськогосподарським IoT-датчикам, що знаходяться в полях або овочесховищах, поза зоною стільникових мереж GPRS / 3G , також необхідно передавати телеметрію.

Застосування технологій короткого радіусу дії, наприклад ZigBee, буде пов'язане з необхідністю підключення додаткового каналу зв'язку для передачі даних через Інтернет на кожному об'єкті або установці ланцюжка ретрансляторів.

У разі ж LPWAN-мережі базова станція, обслуговуючи велику кількість пристроїв, зв'язується з ними безпосередньо без використання проміжних вузлів і охоплює відразу кілька об'єктів в радіусі своєї дії.

Такий підхід спрощує впровадження рішення на одному об'єкті, так як не вимагає установок проміжного обладнання. Досить встановити і включити кінцеве пристрій. При розгортанні мережі на декількох об'єктах це істотно знижує вартість обладнання та робіт на розгортання мережі.

Крім того, відмовостійкість всієї системи підвищується за рахунок формування єдиної точки відмови. Наприклад, в ZigBee-системах концентратори встановлюються без запасу за охопленням, щоб уникнути зайвого подорожчання рішення. При відмові концентратора пропадають всі лічильники в його радіусі дії. Тим часом у випадку з LPWAN відмова кінцевої точки ніяк не впливає на працездатність інших пристроїв.

Топологія масштабної LPWAN-мережі будується за принципом «зірка із зірок». Кожна базова станція приймає дані з різних пристроїв і передає їх на сервер для подальшої обробки.

Масштабуються технології повинні бути економними. LPWAN дозволяє ефективно управляти своєю вартістю на різних етапах побудови мережі. Нижче наведено кілька ключових показників.

Вартість введення в експлуатацію та підтримання LPWA-мереж - ключовий показник для постачальників рішень на LPWAN. З огляду на великий радіус дії базових станцій, від 10 до 50 км, LPWAN-мережу може бути розгорнута на великій території за допомогою відносно невеликої кількості станцій.

Так, наприклад, «Стриж» домогся таких характеристик зв'язку, які дозволяють покрити місто-мільйонник однією-двома LPWAN-станціями. Якщо провести порівняння з стільниковими мережами, де радіус дії станції обмежений 1-2 км, то для повноцінного покриття міста щільність розміщення станцій буде на один-два порядки вище. Відповідно, пропорційно зростуть і витрати на розгортання і обслуговування такої мережі.

Вартість «розумних» пристроїв на базі технології LPWAN безпосередньо залежить від цін на комплектуючі. Так, вартість LPWAN-радіомодуля сьогодні варіюється від \$ 1,99 до \$ 29 в залежності від виробника, використовуваного протоколу зв'язку і за куповуваного обсягу. Готові LPWAN-пристрої коштують дорожче звичайних приладів, але при цьому вигода, одержана від впровадження таких приладів, дозволяє окупати системи менш ніж за 1 рік. Наприклад, система обліку води на LPWAN економить керуючим компаніям до 30% від щомісячної вартості ресурсу за рахунок підвищення збирання, запобігання махінацій з показаннями лічильників і автоматизації процесу обліку.

У міру популяризації технології і поступового зменшення вартості компонентів ціна пристроїв буде знижуватися. В кінцевому рахунку вона досягне такого рівня, при якому використання звичайного пристрою стане безглуздом. Так само, як це сталося з звичайних провідних телефоном або радіоточкою в квартирі - їх замінили дешеві бездротові аналоги.

LPWAN-технологія має ряд незаперечних переваг, які дозволяють впроваджувати готові рішення швидше і дешевше. Особливо відчутною стає вигода на масштабних проектах, де потрібні велика кількість автономних пристроїв і широкий територіальне охоплення. Відсутність проміжного обладнання у вигляді концентраторів і ретрансляторів значно знижує загальну вартість проекту.

LPWAN дозволяє не тільки заощадити на вартості обладнання, а й скоротити кошторис на пусконаладжувальні роботи. Процес запуску готових систем на LPWAN проводиться через підключення «розумних» пристроїв за принципом Plug-and-Play. Так, наприклад, лічильники води встановлюються так

само, як і звичайні водоміри, і відразу починають передавати показання в LPWAN-мережу. Крім того, такий прилад може встановити будь-який сантехнік, на відміну від традиційних рішень, ZigBee або GPRS, де потрібно налаштування і калібрування професіоналом.

Оператори стільникових мереж працюють в певному частотному діапазоні і оплачують виділений для них радіочастотний спектр. В результаті вартість мегагерц осідає в тарифах на мобільний зв'язок кінцевих користувачів.

LPWAN-мережа працює в неліцензійному частотному діапазоні - зокрема, в Росії це 868,8 МГц. Таким чином, використання частотного спектра для кінцевого споживача не варто нічого.

З огляду на високу автономність і відмовостійкість LPWAN-систем, експлуатаційні витрати на них мінімальні. Заміна акумуляторних батарей відбувається раз на кілька років, а відмова кінцевих пристроїв трапляється рідко. Найчастіше термін роботи «розумного» пристрою значно перевищує його регламентований законодавством експлуатаційний період. Так, наприклад, термін перевірки лічильника води, встановлений законодавством, - 6 років, а розрахунковий термін роботи, визначений виробником, - понад 10 років. Схожа ситуація складається і з іншими приладами обліку: лічильниками електрики, тепла і газу.

З огляду на зростаючу потребу в зв'язку для «Інтернету речей», а також поява компонентної бази для недорогих і компактних пристроїв, актуальність LPWAN-мереж буде стрімко рости.

Так, за прогнозами дослідницького звіту Gartner, кількість «розумних» пристроїв на планеті до 2020 р перевищить 21 млрд. Вони будуть здатні обмінюватися інформацією по різних каналах зв'язку, і LPWAN стане одним з найбільш підходящих способів міжмашинна комунікації.

Комерційні і технічні переваги LPWAN дозволяють вже сьогодні використовувати їх для створення як локальних, так і територіальних телематичних мереж. Надалі цей тренд збережеться, покриття LPWAN-мереж стане глобальним, а користувачі зможуть підключати свої пристрої в будь-якій

точці планети.

Універсальність використання LPWAN-мереж в різних галузях буде стимулювати розробників розширювати сімейство LPWAN-пристроїв, а їх вартість буде знижуватися до рівня традиційних приладів і сенсорів.

3.5. Мережі LPWAN: історія і перспективи

Прототипи мереж LPWAN з'явилися в 1980-1990 рр. Однак ці мережі поступилися місцем більш ефективним технологіям. Сучасні ж LPWAN можуть скласти конкуренцію навіть розробляються мереж 5G. Вся справа в широкому охопленні, низької вартості обладнання і обслуговування і т.д. LPWAN-сервіси незамінні у відстеженні активів, управлінні будинками, реалізації концепції «розумне місто», розумному обліку ресурсів і сільському господарстві.

Історія LPWAN почалося задовго до того, як французька Sigfox в 2009 році запустила в Неліцензована діапазоні частот однойменну бездротову мережу. Метою компанії було підключення до мережі об'єктів, яким для роботи не потрібно багато енергії. Першими були підключені лічильники, пральні машини і т.д.

І все ж першими пристроями, які почали роботу в попередниках сучасних LPWA-мереж, стали системи сигналізації. Так, в 1980-1990 рр. стали з'являтися аналогічні з LPWAN топології і мережеві архітектури. Наприклад, компанія AlarmNet, «дочка» ADEMCO, включала з бездротової мережі пожежні сповіщувачі і проводила моніторинг їх роботи. Мережа функціонувала на частоті 928 МГц в США і охоплювала 65% населення. Надалі Honeywell придбала AlarmNet.

Ще один постачальник - ARDIS, що заснував в 1980-х рр. бездротову мережу з широкою зоною покриття, належав компанії Motorola. До цієї низькоскоростной мережі підключали обладнання для автоматизації продажів і онлайн-транзакцій. Згодом American Mobile придбала ARDIS, і обслуговування клієнтів новий власник перевів в більш сучасні мережі.

З поступовим розвитком технологій компанії-постачальники рішень для моніторингу перейшли на мережі 2G. Це сталося в кінці 1990-х. За мірками того часу мережі 2G мали повсюдне покриття.

Устаткування стає все більш доступним за ціною, а інструменти інтеграції - простішими в експлуатації. Отримувати інформацію з датчиків, розташованих в

декількох кілометрах від диспетчерського пункту, стало дуже просто. До того ж інтегрувати дані з віддалених пристроїв тепер можна в різні додатки. Залишилося лише організувати канали зв'язку.

Оскільки устаткування в LPWAN передає невеликі обсяги інформації, то потреба в забезпеченні високих швидкостей для такого класу обладнання відсутня. Це, в свою чергу, впливає на кінцеву вартість пристроїв. Завдяки зазначеним чинникам з'явилися сучасні мережі LPWAN.

Під терміном LPWAN (LPWA Network, від англ. Low-power Wide-area Network) слід розуміти кілька технологій, завдяки яким відбувається з'єднання датчиків і контролерів з Інтернетом. Мережі Wi-Fi і стільникового зв'язку при цьому не використовуються.

Ці технології створені для передачі телеметричних даних з приладів обліку, датчиків та інших пристроїв на далекі відстані. Поява LPWAN багато в чому пов'язано з потребами M2M-пристроїв.

Як правило, мережі LPWA використовуються для передачі малого об'єму даних (найчастіше до 1 МБ на місяць) від пристроїв, здатних роками працювати від одного АА-акумулятора, на великі відстані. Тим самим вартість обслуговування такого обладнання в мережах LPWA зводиться до мінімуму.

До переваг LPWAN також слід віднести:

- Невелика кількість базових станцій, необхідних для охоплення певної території. Одна базова станція охоплює, в умовах рівного рельєфу і нещільної забудови, територію до 100 км і здатна обслуговувати кілька тисяч пристроїв;

- Проникаюча здатність радіосигналу. Як правило, лічильники розташовуються в підвалах багатоквартирних і приватних будинків. Сигнал мережі LPWA успішно поширюється і в сильно забудованій міському середовищі, долаючи стіни і проникаючи в підвали.

- Низька вартість устаткування і мінімальні витрати на його обслуговування.

Активно розвивають мережі LPWAN LoRa Alliance, Sigfox, Ingenu і інші провайдери. Розглянемо деякі мережі більш детально.

Ultra Narrow Band (UNB) - технологія ультранизької смуги модуляції. До

UNB відносяться такі відомі мережі, як NB-IoT і Sigfox.

NB-IoT була розроблена на базі існуючих стандартів мобільного зв'язку. Мережі NB-IoT працюють в це дозвіл спектрі частот. Стандартизація технології завершилася в червні 2016 року. Курирує розробку цієї мережі 3GPP.

У NB-IoT забезпечується підтримка більше 100 тис. Сполук на соту, акумулятор пристрою, підключеного до NB-IoT, може працювати до десяти років без підзарядки. Також забезпечується широке покриття з посиленням 20 дБ в мережі GSM і т.д. Чотири Мережі NB-IoT, за даними GSMA, вже працювали в квітні 2017 року. В цей же час по всьому світу тестувалися 40 NB-IoT мереж.

Sigfox - французька компанія, в 2009 році запустила сучасну мережу LPWA у Франції. Сума інвестицій в проект тоді склала € 100 млн.

Для роботи мережі використовується технологія надвузькополосного бездротового зв'язку. Мережа базується на топології «зірка». До речі, така топологія характерна для більшості LPWA. Безліч пристроїв по бездротовому з'єднанню передають дані на шлюзи, а шлюзи перенаправляють інформацію на сервер. Кожен пристрій в мережі може передавати до 140 вихідних повідомлень на добу. Обсяг повідомлення не перевищує 12 байт. Максимальна кількість вхідних повідомлень - 4, обсяг кожного - до 8 байт.

Мережа працює в не ліцензована частотному діапазоні. Зараз для надання послуг зв'язку використовується діапазон 868 МГц в Європі і 902 МГц в США. Мережі Sigfox розгорнуті більш ніж в 26 країнах світу.

LoRa - це запатентований частотне розширення спектра. У 2008 році технологію запатентувала французька компанія Cycleo, а в 2012 році цю компанію придбала Semtech. З цього моменту почався зліт LoRaWAN. Semtech зуміла зацікавити новою технологією IBM і Cisco, які згодом увійшли до LoRa Alliance.

Найбільш відомий протокол LoRa - LoRaWAN - це апаратний протокол управління зв'язком між LPWAN шлюзами і кінцевими вузлами пристроїв. Мережа LoRaWAN (Long Range wide-area networks, глобальна мережа великого радіусу дії) розгортається в частотному спектрі, що не вимагає ліцензування.

Пристрої в мережі LoRaWAN асинхронно передають дані для відправки на шлюз. Потім кілька шлюзів, які отримали цю інформацію, відправляють пакети даних на централізований сервер мережі, а від нього - на сервери додатків.

У Росії просуванням стандарту LoRaWAN займаються Everynet і «Мережа 868». Зацікавилися цією технологією також «Мегафон», «Вимпелком» і МТС. «В минулому році ми успішно протестували технологію LoRa, а зараз беремо участь в пілотному проєкті з департаментом інформаційних технологій Москви», - повідомляв iot.ru Дмитро Солодовников, прес-секретар МТС.

Підтримку протоколу на глобальному рівні надає LoRa Alliance. Альянс об'єднує понад 500 компаній - розробників апаратного і програмного забезпечення і операторів LoRaWAN.

Послуги зв'язку LoRaWAN надають 42 оператора більш ніж в 250 містах світу. Таку популярність цього стандарту фахівці пояснюють низьким рівнем енергоспоживання (близько 10 років від однієї батареї), великою територією покриття і невисокою вартістю датчиків (до \$ 10).

Ingenu - ця мережа використовує протокол RPMA (Random Phase Multiple Access). Технологія доступна в 29 країнах світу.

Зараз LPWAN-технології широко використовуються у відстеженні активів, управлінні будинками, реалізації концепції «розумне місто», розумному обліку ресурсів і т.д. Аналітики Berg Insight відзначають, що LPWAN будуть активно використовуватися в сільському господарстві, особливо в місцевостях, б поза мобільним зв'язком.

Наприклад, мережа IoT з використанням наземних каналів - базових станцій LoRaWAN від Atility і супутникового каналу (для передачі інформації від базової станції в інтернет) в лютому 2017 року запустив глобальний провайдер супутникового зв'язку компанія Inmarsat.

Реалізація такого проєкту дозволить більш ефективно вирощувати масний пальму в Малайзії. Плантації, як правило, знаходяться далеко від цивілізації. Датчики збирають інформацію про вологість ґрунту на угіддях, біля коріння рослин, проаналізують кількість прісної води в резервуарах, дозволять економно

витрачати ресурси і збільшити врожайність цієї агрокультури.

Фермерам на віддалених фермах в Австралії відтепер не доведеться витрачати багато часу на визначення місцезнаходження, параметрів здоров'я та інших важливих показників великої рогатої худоби. Як правило, дістатися до деяких ранчо можна тільки авіацією, тому послуги ветеринара не завжди доступні. Використання LoRaWAN і супутникового зв'язку вирішить цю проблему.

Стане в нагоді таке рішення і на нафтових платформах в морі. За допомогою датчиків і предиктивної аналітики можна буде оперативно визначити потенційні точки збою і вчасно провести профілактику. Це вбереже компанії від простоїв, щоденні збитки від яких обчислюються мільйонами доларів.

Аналітики J'son & Partners Consulting відзначали, що в Росії найбільш поширені такі стандарти LPWAN, як LoRaWAN і NB-IoT. Понад 10 млн підключень в Росії доведеться до 2022 року на LPWAN.

За прогнозами компанії Statistics MRC середньорічний темп зростання світового ринку LPWAN складе 88,8% з 2015 по 2022 роки. До 2022 обсяг ринку досягне \$ 46,3 млрд.

Мережі 5G до 2028 року на глобальному ринку не зможуть скласти конкуренцію NB-IoT і LoRa. На NB-IoT доведеться 90% від усіх LPWAN-з'єднань в світі. Мережі LoRa доповнять NB-IoT, переважно охоплюючи віддалені території, вважають аналітики Lux Research.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ЗАГОРЯННЯ ЛІСОВИХ МАСИВІВ І РАНЬОГО ОПОВІЩЕННЯ НА ОСНОВІ СІТЧАСТОЇ СТРУКТУРИ

4.1. Вибір компонентів та топології системи

Апаратною платформою для кінцевих пристроїв був обраний радіо-мікроконтролер фірми Texas Instruments CC1352R1F3RGZT, що може працювати одночасно на частоті 2.4ГГц та на догігагерцових частотах. Це дозволяє реалізувати систему з можливістю керування через «централь», або керування напрямку кінцевим пристроєм через мобільний телефон без підключення до мережі інтернет. Можливим рішенням будуть сітчасті системи з датчиків вимірювання температури, вологості і випромінювання, які зможуть аналізувати отримані дані і вчасно попередити про небезпеку загоряння або вказати вогнище пожежі.

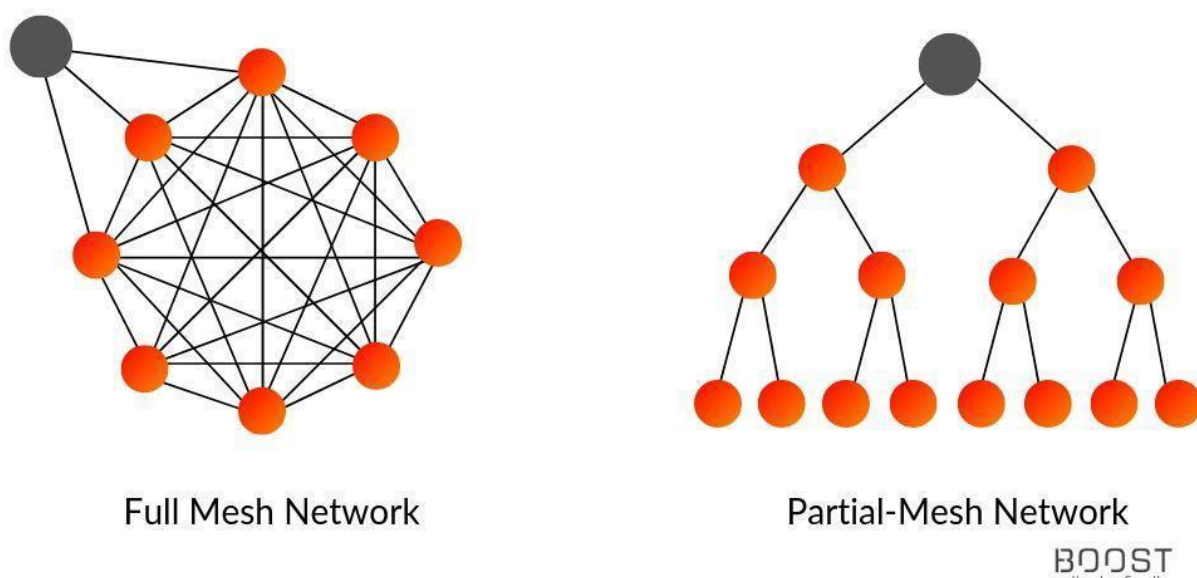


Рисунок 4.1 - Топологія що проектується

Таким чином mesh-мережу вимірювальних девайсів з використанням технології LPWAN є безумовно перспективною, енергоефективною і високоефективною системою виявлення і профілактики лісових пожеж. Для передбачення та своєчасного попередження потрібно використовувати сенсори температури, вологості, тиску та освітлення. В дослідженні будуть

використовуватись наступні сенсори: HDC2080 (датчик температури та вологості), OPT3001 (датчик освітлення), BMP280(датчик тиску).

4.2. Розробка пристрою

Для тестування системи розробляється плата розробника, що включає в себе вимірювальні сенсори, виведені пінні контролера для підключення зовнішніх пристроїв, або актуаторів. Передбачена можливість роботи пристрою від батареї та від зовнішнього живлення для відлагодження усіх процесів та систем.

Для початку розробляється система живлення пристрою, що буде складатись з трьох частин: стабілізатор напруги для зовнішнього живлення, батарейне живлення та схема живлення радіо частини.

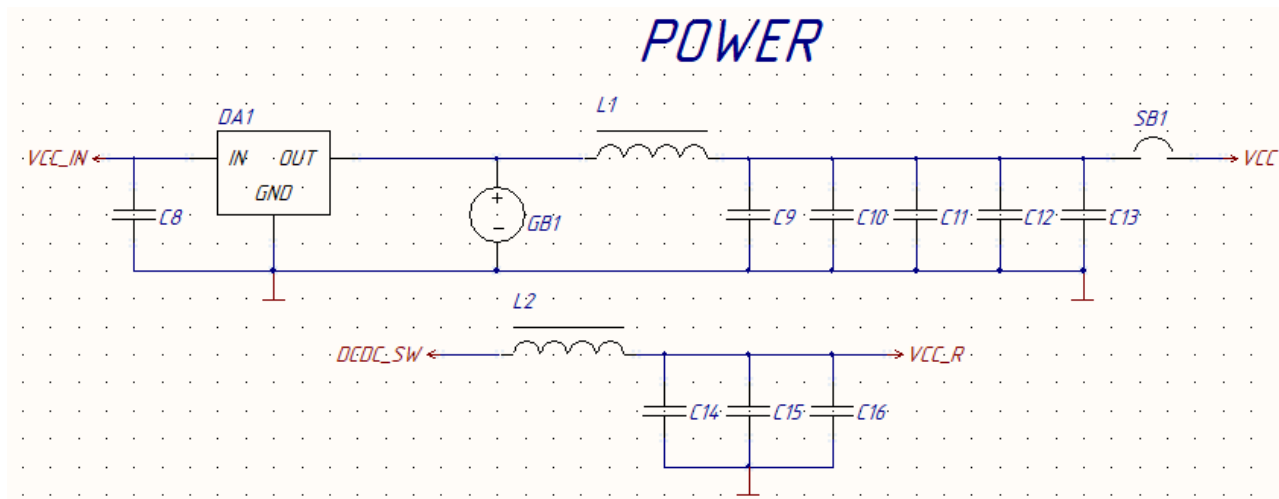


Рисунок 4.2 - Система живлення пристрою

Далі проектується система тактування центрального контролера, що складається з високочастотного кварцевого генератора на 48МГц та низькочастотного часового кварцу на 32,728кГц, що будуть тактувати роботу мікроконтролера та його радіочастини. Датчики тактуються за допомогою годинника реального часу (RTC), які в свою чергу, тактуються від часового кварцу 32768 Гц. За допомогою RTC датчики можуть отримувати переривання, здатні виводити їх із сплячого режиму, через строго нормовані інтервали часу, кратні частоті годинного кварцу. Для того, щоб інші датчики і приймач витримували цю тактіровку, між ними повинна бути дуже сильна синхронізація.

Для досягнення синхронізації є кілька механізмів, що дозволяють дуже точно синхронізувати датчики між собою:

- Апаратний (використання високоточних кварців)
- Пересинхронізація, синхронізація. Спеціальна команда, в якій датчику повідомляються всі необхідні параметри поточної синхронізації (довжина слота, довжина фрейму, частотний діапазон і т.д.)
- Синхронізація по статусах (автоподстройка догляду синхронізації «на льоту»)
- Механізм CheckSynchro (синхронізація поза TDMA і фрейму, через певні інтервали часу, жорстко задані в ПО датчиків)

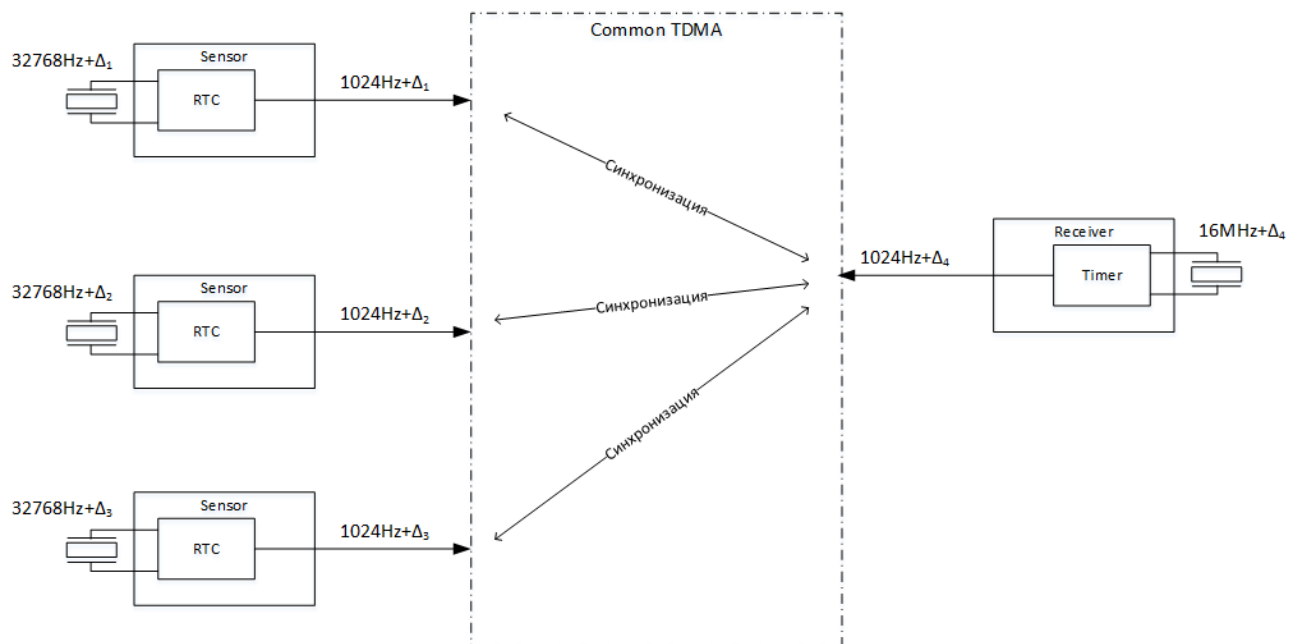


Рисунок 4.3 - Приблизна схема тактування пристрою

Через специфіку мікроконтролера датчика, він може в сплячому режимі тактуватися тільки годинами реального часу, які мають дуже слабкі засоби для управління частотою і виборі коефіцієнтів розподілу останньої. Тому, як частотозадаючого елемента системи у нас виступає саме датчик.

Для тактування TDMA була обрана частота 1024 Гц, яку легко отримати простим поділом з частоти годинного кварцу 32768 Гц. $1024 = 32768/32$.

І, відповідно, мінімальним тиком системи буде інтервал $1/1024 \text{ сек} = 0,977 \text{ мс}$, яку для простоти далі будемо називати мілісекунди. У нас немає ніяких спеціальних вимог до відліків реальних інтервалів часу, тому, довжина однієї секунди у нас може бути яка завгодно. Далі в тексті, все інтервали, які

відносяться до синхронізації TDMA (довжина слота, довжина фрейму, час приходу команди, затримка синхронізації і т.д.) будуть вимірюватися саме в цих мілісекундах.

Приймач також може тактуватися від часового кварца, або, для економії, може використовувати кварц ядра самого мікроконтролера. Вищевказану частоту можна отримати простим поділом з частоти, кратної 16 МГц:

$$+1024 = 16\text{Mhz} / 15625$$

$$1024 = 96\text{Mhz} / (6 * 15625)$$

$$1\ 024 = 112\text{Mhz} / (7 * 15625)$$

Про точність кварців. Налаштування системи за умовчанням - 8 пропусків до генерації пропачі датчика. Таким чином, при найгіршій зв'язку, без будь-якої корекції датчик повинен знаходитися в синхронізації 7-8 фреймів. Допуски на помилку синхронізації 10-20 мс.

Таким чином, отримуємо, в «вільному польоті» датчик за 8 фреймів не повинен піти більш, ніж на 20 мс.

Максимально можливий фрейм в системі - 5 хв. Звідси, датчик за 40 хвилин не повинен піти більш, ніж на 20 мс. Отримуємо:

$$\text{delta} = 20\text{ms} / 40\text{min} = 20000\text{mks} / (40 * 60\text{sec}) = 20000/2400 \text{ mks} / \text{s} = 8.33 \text{ mks} / \text{s}$$

$$8.33 \text{ mks} / \text{s} = 8.33\text{ppm}$$

Найближчий подібний кварц - 10 ppm. З такою точністю на 20 мс датчик без підстроювання синхронізації втече за 33 хв, на 10 мс, відповідно, за 16 хв, що приймаємо за більш-менш прийнятний факт. Таким чином, для системи обрані кварци з точністю 10 ppm.

Так як тактуватись будуть радіоінтерфейси великої частоти, потрібна точність високочастотного кварцу не менша ніж плюс-мінус 10ppm.

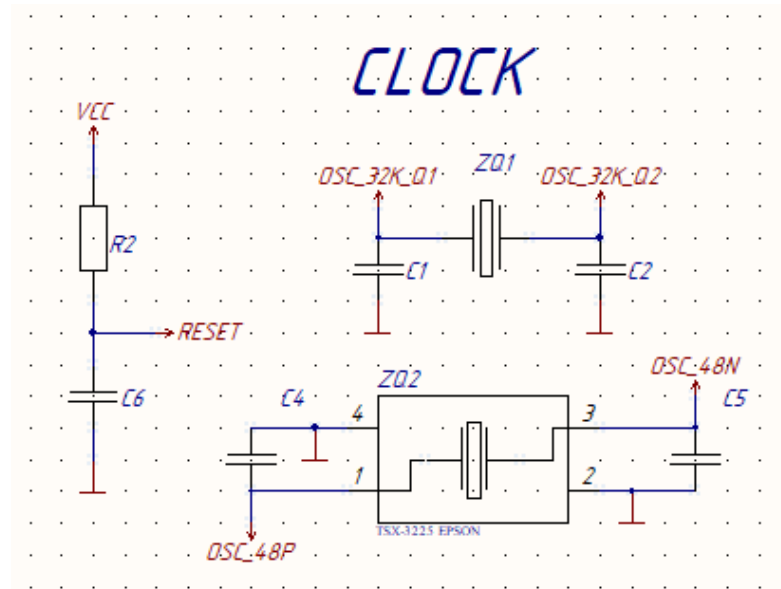


Рисунок 4.4 - Система тактування пристрою

Наступним кроком розмістимо центральний мікроконтролер CC1352R1, що буде керувати всією діяльністю пристрою, вимірювати показники температури, вологості та освітленості.

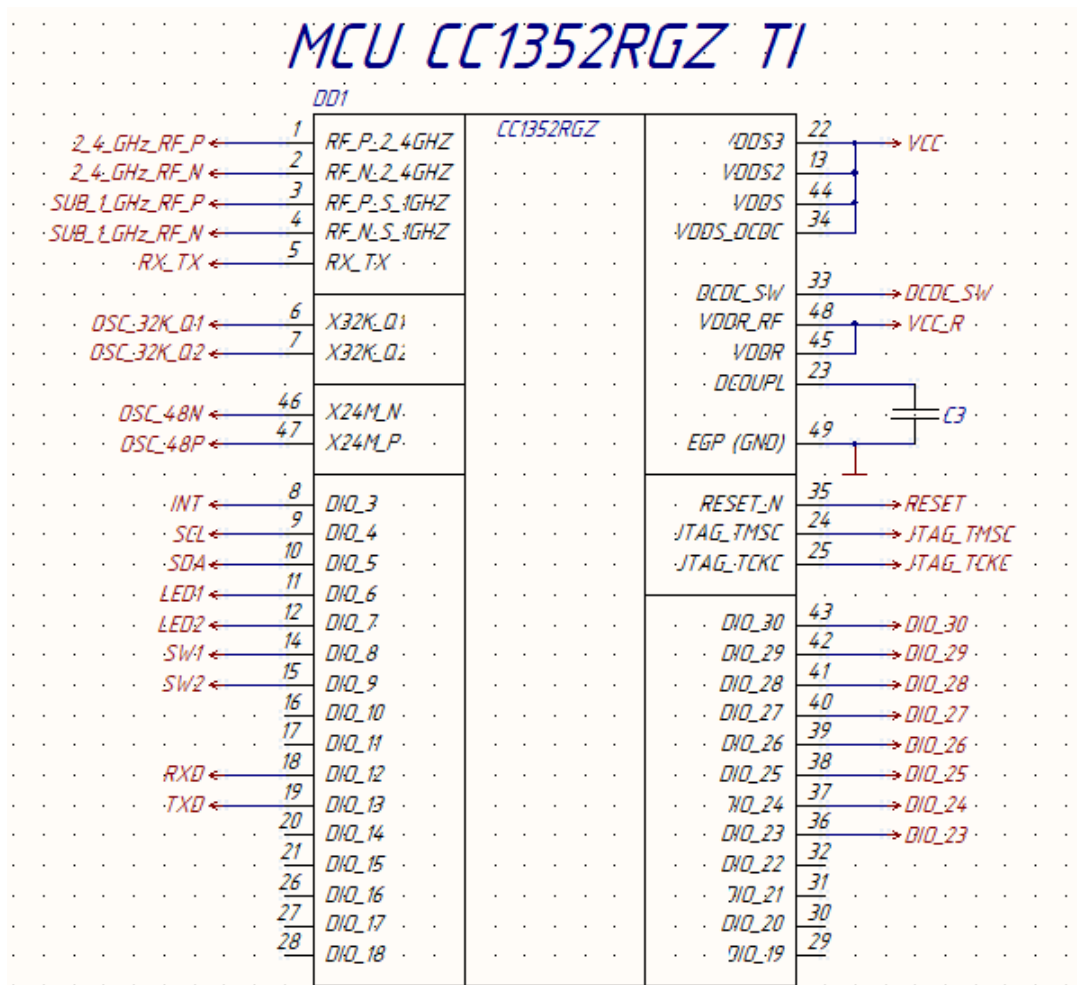


Рисунок 4.5 - Центральний контролер пристрою

Одним із основних блоків пристрою є блок виміру, або блок сенсорів, що складається з датчику температури та вологості HDC2080, датчику освітленості OPT3001 та датчику тиску BMP280.

Пристрій HDC2080 являє собою інтегровану вологість і датчик температури, що забезпечує високу точність вимірювання з дуже низьким енергоспоживанням в невеликий пакет DFN. Ємнісний сенсор включає нові інтегровані цифрові функції та опалення елемент для розсіювання конденсату та вологи. Цифрові функції HDC2080 включають програмовані порогові значення переривань для надання попереджень та системи пробудження, не вимагаючи наявності мікроконтролера постійний моніторинг системи. У поєднанні з програмованими інтервалами дискретизації, мала потужність споживання та підтримка джерела живлення 1,8 В напруги, HDC2080 призначений для батарейних систем. HDC2080 забезпечує високу точність вимірювання здатність до широкого спектру навколишнього середовища програми моніторингу та Інтернету речей (IoT) такі як розумні термостати та розумний дім. Для конструкцій, де друкована плата площа (PCB) критична, менший варіант пакету CSP доступний через HDC2080 із повним програмним забезпеченням сумісність з HDC2080.

Для додатків із суворими обмеженнями бюджету живлення, Режим автоматичного вимірювання дозволяє HDC2080 автоматично ініціює температуру та вологість вимірювання. Ця функція дозволяє користувачам налаштовувати мікроконтролера в режим глибокого сну, оскільки HDC2080 більше не залежить від мікроконтролер для ініціювання вимірювання.

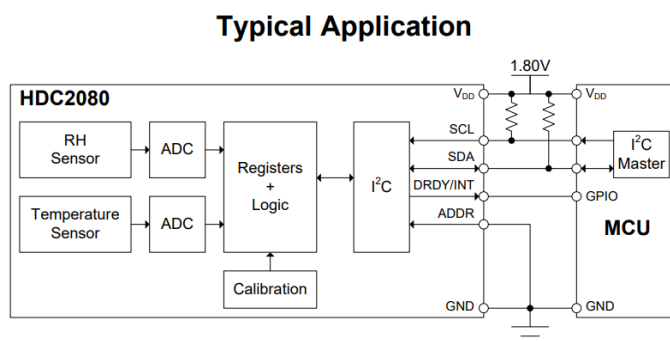


Рисунок 4.6 - Датчик HDC2080 типове включення

OPT3001 - це датчик, який вимірює інтенсивність видимого світла. Спектральна реакція датчика щільно відповідає фотопічній реакції людського ока і включає значну інфрачервону відторгнення. OPT3001 - це однокристальний люкс-метр, який вимірює інтенсивність світла, видиме людським оком. Точна спектральна реакція та сильна ІЧ-відхилення пристрою дозволяють OPT3001 точно вимірювати інтенсивність світла, яке бачить людське око, незалежно від джерела світла. Сильне відторгнення ІЧ-сигналів також допомагає підтримувати високу точність, коли промисловий дизайн вимагає кріплення датчика під темним склом для естетики. OPT3001 розроблений для систем, які створюють враження на основі світла для людей, і є ідеальною переважною заміною для фотодіодів, фоторезисторів або інших датчиків навколишнього світла з меншим збігом людського ока та відхиленням ІЧ-сигналу. Вимірювання можна проводити від 0,01 люкс до 83 тис. Люкс без ручного вибору повномасштабних діапазонів за допомогою вбудованої функції повномасштабного налаштування. Ця можливість дозволяє вимірювати світло в 23-бітному ефективному динамічному діапазоні. Цифрова операція гнучка для системної інтеграції. Вимірювання може бути безперервним або поодиноким. Система управління та переривання має автономну роботу, дозволяючи процесору спати, поки датчик шукає відповідні події пробудження, щоб повідомляти через штифт переривання. Цифровий вихід повідомляється через двохпровідний послідовний інтерфейс I2C і SMBus-сумісний. Низьке споживання енергії та низька напруга джерела живлення OPT3001 збільшують термін служби батареї систем, що живляться від акумуляторів.

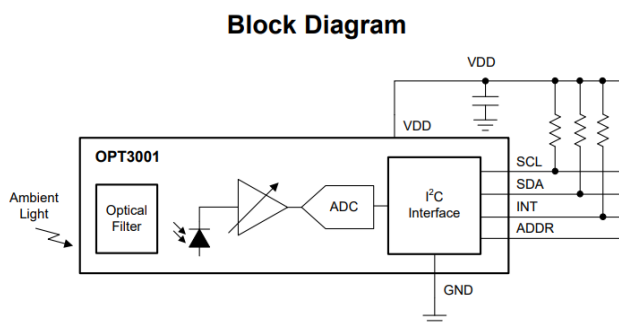


Рисунок 4.7 - Блок діаграма OPT3001

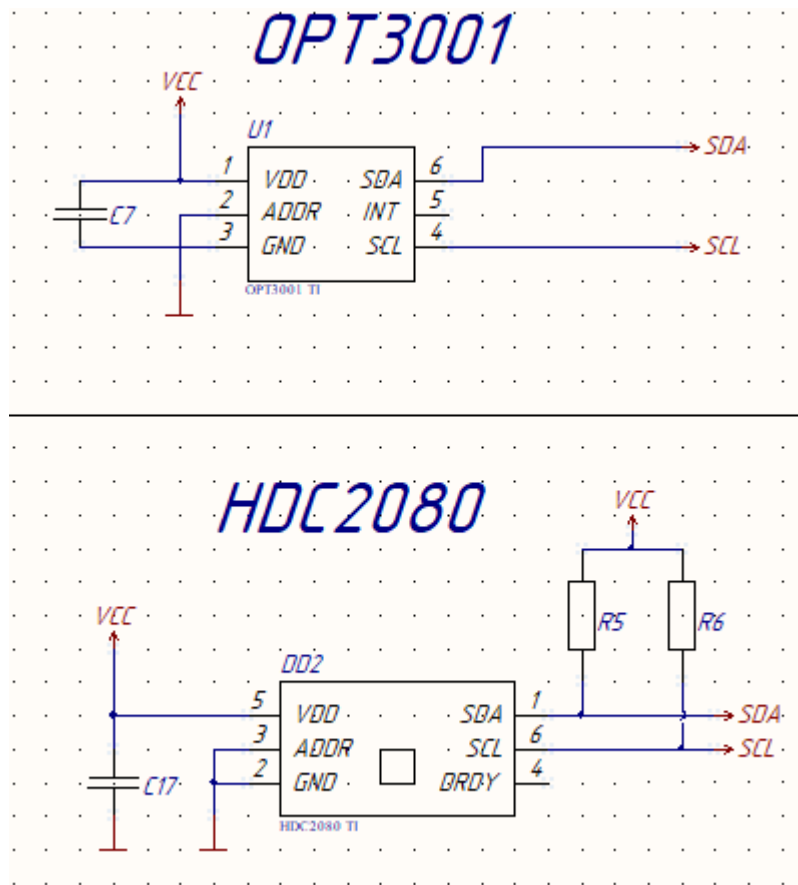


Рисунок 4.8 - Датчик HDC2080 та OPT3001

Для зручності роботи з пристроєм передбачено блок індикації, що складається з двох світлодіодів та блоку введення, що складається з двох тактових кнопок. Не менш важливою є антени пристрою, що дозволяють працювати з суб-гігагерцевими частотами та 2,4ГГц частотами, а саме блютузом.

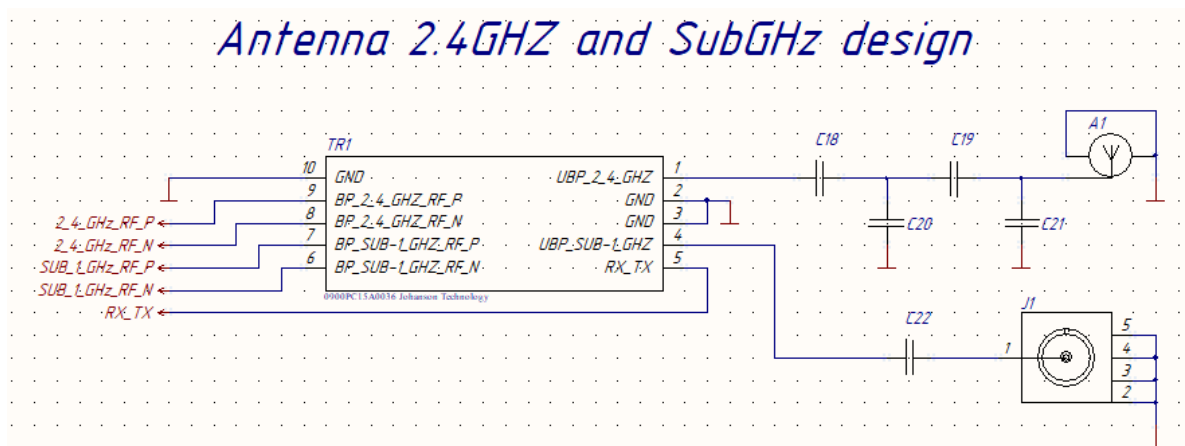


Рисунок 4.9 - Антенний блок пристрою

4.3. Архітектура системи та протокол обміну між кінцевими пристроями

Умови застосування не спеціалізованого радіочастотного обладнання описані в гармонізує стандарті ETSI EN 300 220 який задовольняє існуючі вимоги article 3.2 of the Directive 2014/53 / EU for non specific radio equipment. Робота радіочастотних девайсів з коротким радіусом дії Short Range Device (SRD) в промисловому медичному і науковому застосуванні Industrial, Scientific and Medical (ISM) в Європі регламентується стандартом ETSI EN 300 220. Для цих цілей виділено діапазон частот 863-870 МГц. Діапазон частот 863-870 МГц розбивають на 8 піддіапазонів і вже називають Operational Frequency Band - K, L, M, N, O, P, Q, R.

Специфіка використання описується в ETSI EN 300 220-2 сюди входить: максимальна потужність, максимальна смуга одного каналу, правила використання виділеного спектра, обмеження по передаваній інформації.

Поняття, пов'язані з визначенням і вимірюванням смуги частот потужності і т.д., знаходяться в ETSI EN 300 220-1. У середині Operational Frequency Band може перебувати кілька Operational Channels.

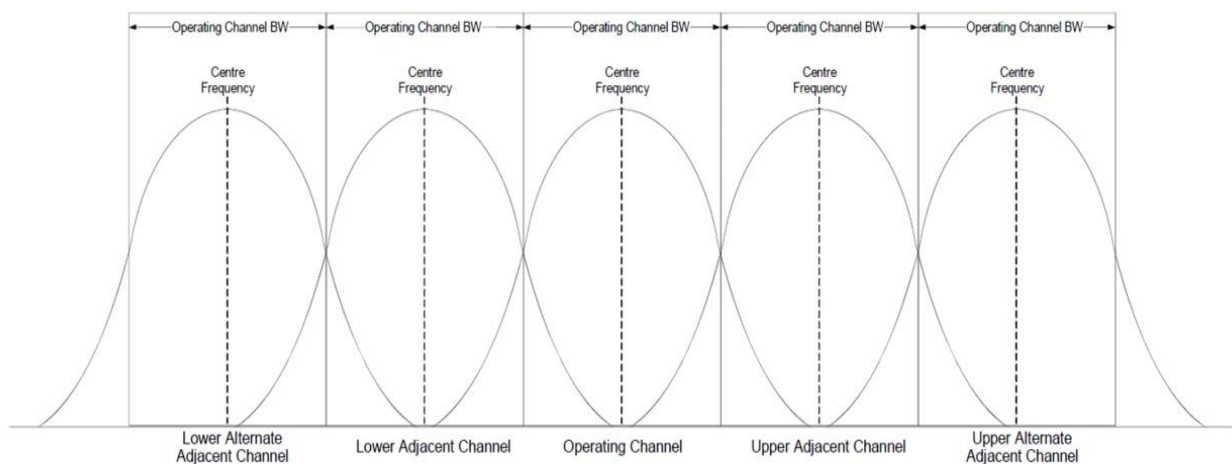


Рисунок 4.10 - Розділення радіочастотного діапазону

Довжина таймслота вибирається для кожної системи індивідуально, псевдо-випадковим чином, в діапазоні 290..310 мс. Далі буде більш детально описано для чого і як це робиться.

При зміні довжини таймслота змінюється довжина періоду тривоги, всі інші тимчасові інтервали залишаються без змін. Іншими словами, зміна довжини слота відбувається тільки за рахунок зміни довжини періоду тривоги.



Рисунок 4.11 - Часові характеристики слоту передачі

Початки періодів прив'язані до певного часу слота в приймальнику, тому їх зрушувати не можна. Для тривожного періоду навпаки, можна посунути початок періоду, але зберегти його кінець. Таким чином, виділяється два інтервали для передачі доп. інформації, загальною довжиною в 180 мс.

Кожен новосформований пакет нумерується своїм номером, незалежно від результату доставки попереднього пакету. Нумерація проводиться інкрементирование 2-байтного лічильника на «1». Кожен датчик (або централь) сам задає і контролює свою послідовність нумерації пакетів.

Приймальна сторона, при отриманні пакету, повинна вирішити два завдання:

- Щоб кожного разу не виконання команди в разі повтору пакета.
- Відрізнити «ліві» пакети, підкладені зловмисниками замість «своїх».

Обидва завдання повинна вирішувати функція фільтрації по номеру пакета.

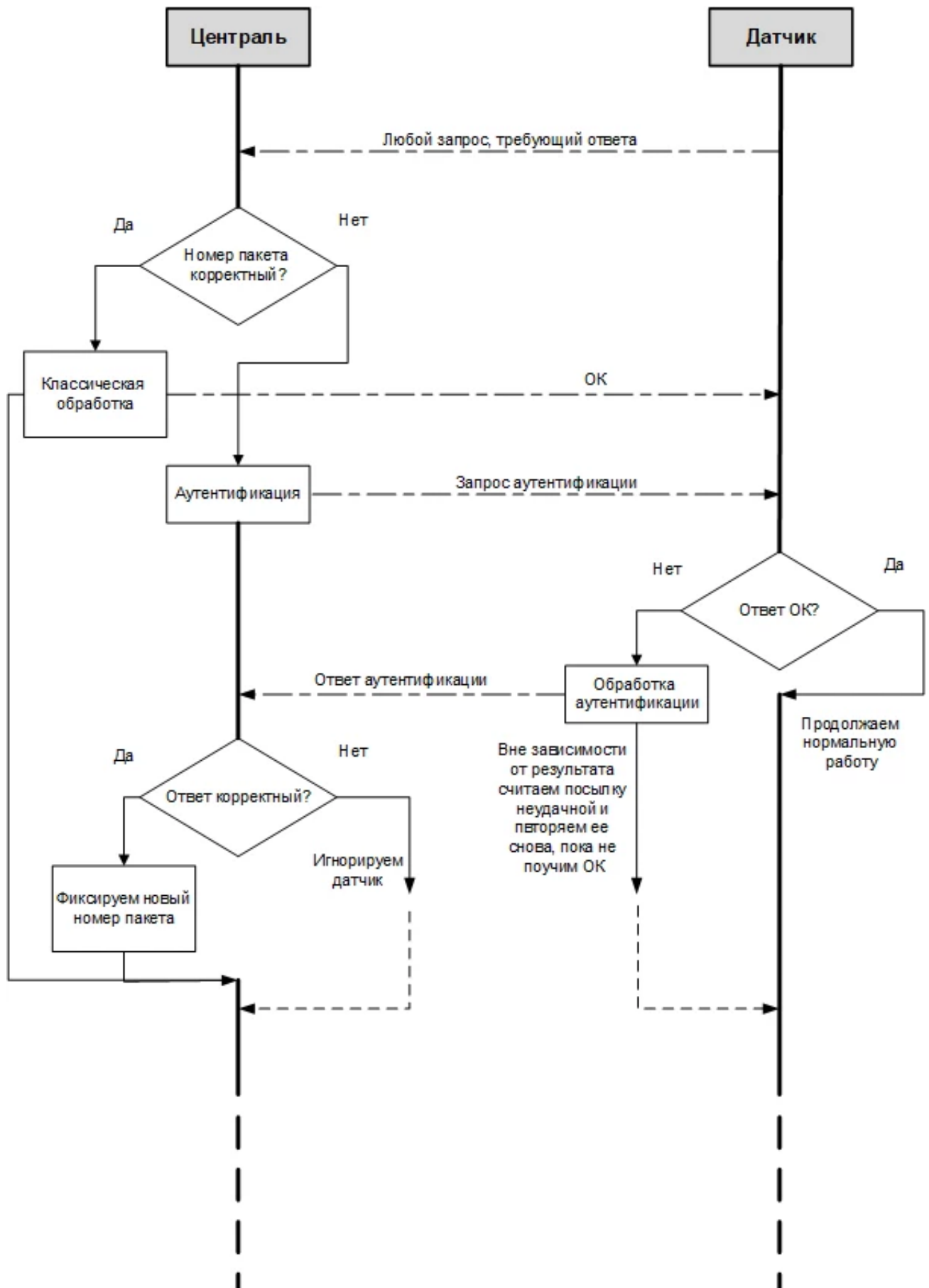


Рисунок 4.12 - Механізм верифікації пакетів

Наскільки б точним не був кварц, він все одно буде відрізнятися від інших кварців по частоті, через цієї різниці датчик все одно потихеньку буде дрейфувати і, рано чи пізно, датчик все одно вилетить за дозволених 20 мс і рассинхронізується з приймачем. Щоб цього не сталося, під час обміну інформацією приймач постійно контролює догляд датчика і, якщо той виходить за допустимі межі, приймач його коригує і повертає назад в зазначені межі. Приймач просто вказує датчику, на скільки мілісекунд він зараз випереджає або відстає від премніка. Датчик, спираючись на цю інформацію, просто додає або забирає в свій лічильник відповідну кількість тактів на найближчий слот, тим самим, прискорюючи або сповільнюючи хід годинника протягом зазначеного слота, потім відновлює кількість за замовчуванням, щоб відновити нормальний хід годинника.

Використовується три способи коригування синхронізації:

- Пересинхронізація, синхронізація. Використовується, коли датчик в принципі не засинхронізований і знаходиться в недозволеному місці. Може ініціюватися як з боку датчика, так і з боку приймача.
- Синхронізація по статусах (автоподстройка догляду синхронізації «на льоту»). Незначна корекція догляду синхронізації, не більше ніж на ± 20 мс.
- Механізм CheckSynchro (синхронізація поза TDMA і фрейму, через певні інтервали часу, жорстко задані в ПО датчиків). Діє так само, як і попередній варіант, за кількома винятками. Можна розглядати як гарантовану експрес-підстроювання при будь-яких довжинах фреймів.

Кожен раз, отримуючи команду корекції синхронізації, датчик запам'ятовує розмір корекції і час від попередньої корекції. Далі, за кількома корекціям поспіль (трьома) він обчислює середній догляд за один слот і визначає поправочний коефіцієнт, який буде далі постійно вноситься в тактовий генератор датчика, щоб компенсувати його постійний дрейф.

Подібна автоподстройка має цикл з 4 корекцій. Перша завжди відкидається, так як є або результатом синхронізації, яка має низьку точність, або результатом

застосування попереднього розрахованого коефіцієнта і також має непропорційний скачок в результаті зміни коефіцієнта. З другої на четверту йде накопичення поправки і часу, за який ця поправка накопичується. На четвертій корекції обчислюється середнє значення, воно додається до вже існуючого і цикл починається спочатку. Завдяки накопиченню поправки і часу, не має ніякого значення, як часто або рідко приходять корекції, результат завжди буде правильним і зведений до усередненого догляду за елементарний період часу.

При цьому, корекція, яку надсилає приймач, включає вже використовується поправочний коефіцієнт датчика, тому він не змінюється, а також накопичується. Скидається цей коефіцієнт тільки при отриманні команди пересінхронізації, весь інший час він постійно підлаштовується. Якщо зовнішні умови не змінюються, то після кожного циклу датчик починає «ходити» все точніше і точніше і інтервали корекції стають все довше і довше.

Для внесення корекції був обраний період в 80 слотів (24 секунди). Час таким було обрано, що з одного боку, забезпечити певну чутливість до внесеним числах, так як на більш коротких періодах вони будуть менше одиниці і просто губляться за рахунок цілочисельний арифметики, з іншого боку, ефект від їх внесення має бути досить швидко видно, щоб можна було підлаштовувати догляд в реальному масштабі часу. Таким чином, в кожен 80 слот вноситься усереднена поправка, яка компенсує догляд датчика.

Підрахунок інтервалів між корекціями і внесення коригувальних зрушень проводиться в перериванні від WakeUp-таймера. Так як в таймер вантажаться цілочисельні значення, а результат усереднення - завжди число з десятковою крапкою, таймер завжди працює на розрахунковому інтервалі і тільки раз в певний період інтервал його спрацювання змінюється, а потім відновлюється знову вихідний.

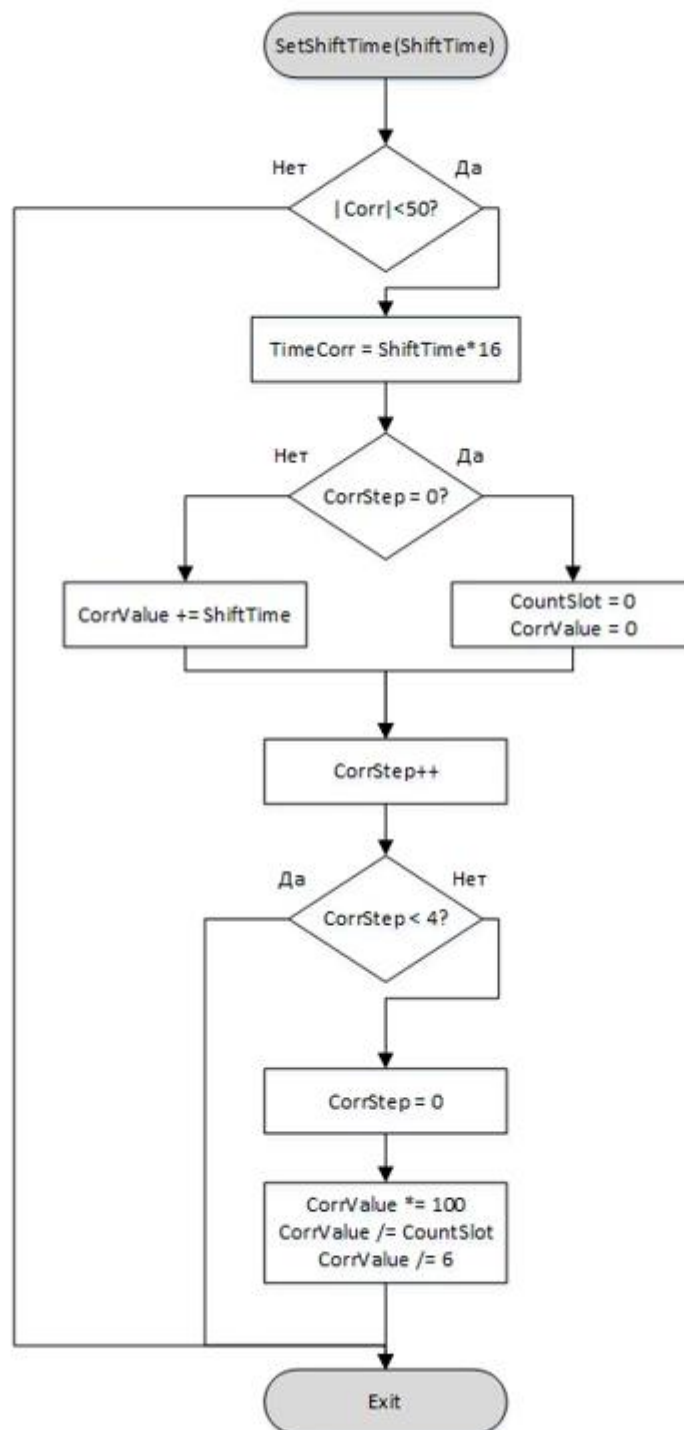


Рисунок 4.13 - Корекція синхронізації

Система буде являти собою сітку зв'язаних датчиків, що постійно вимірюють показники освітленості, температури та вологості які здатні як приймати пакет даних так і передавати його, тобто датчики виступають самостійними одиницями, що самостійно приймають рішення стосовно передачі тривожного пакету пристрою концентратору, котрий передасть дані через

мережу інтернет на контрольний пункт. Розглянемо процес передачі пакету. Перед системою стоїть задача передавати його в правильну сторону, тобто у сторону пристрою концентратора. Для цього кожен девайс має ідентифікатор, який виділяє його серед інших та показує наскільки далеко сенсор знаходиться від концентратора. При передачі пакету, приймач порівнює свій ідентифікатор і ідентифікатор передавача, щоб точно передати пакет далі в сторону концентратора, що і зображено на наступному рисунку.

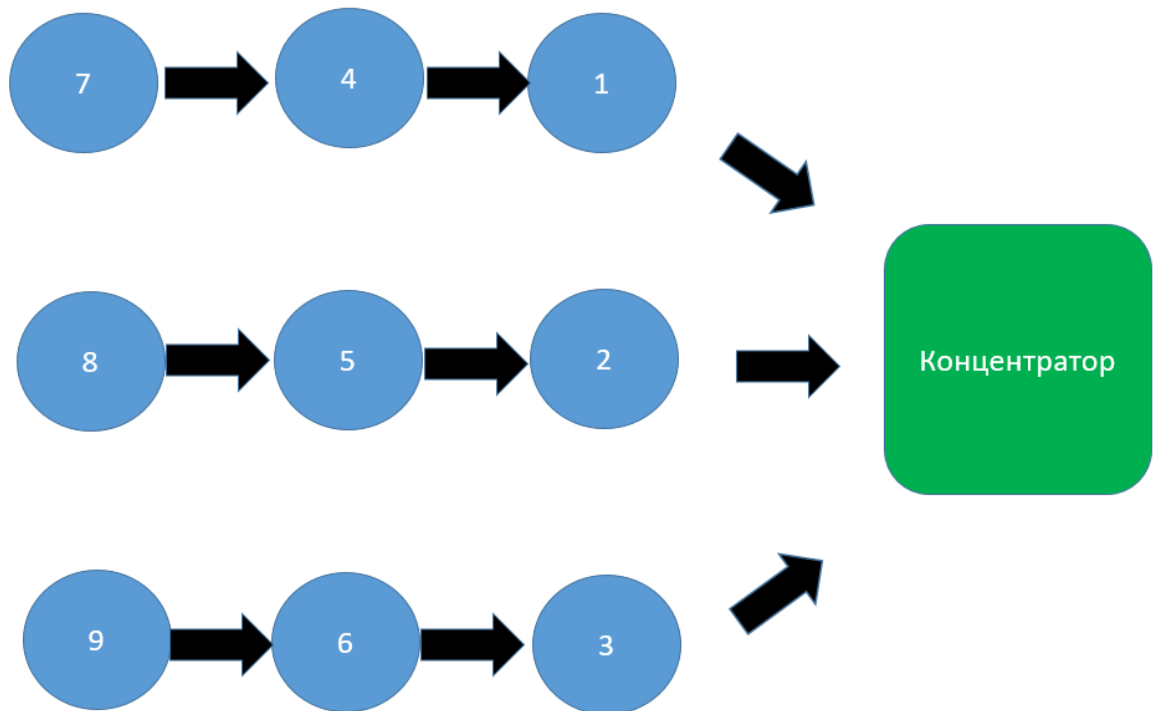


Рисунок 4.14 - Принцип роботи системи

Для того, щоб інформація для контрольного пункту була повна, датчик передає в пакеті результати вимірювання температури, вологості та освітлення з кодом тривоги яка викликала потребу в передачі пакету до концентратора. Щоб точно знати в якомі місці в лісовому масиві виникла пожежа, або вона можлива, датчик передає свої координати, які в нього записані при встановленні на місці спостереження.



Рисунок 4.15 - Склад пакету, що передає девайс

5. ОБҐРУНТУВАННЯ СУТНОСТІ СТАРТАП ПРОЕКТУ. ІДЕЯ, ЦІЛЬОВІ ГРУПИ СПОЖИВАЧІВ, ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ

Кількість лісових пожеж щороку зростає та знищує все більше ресурсів, що призводить до величезних витрат для країн та лісових господарств. Джерелами для такого зростання виступають людська недбалість та природні умови. Наприклад, дуже часто люди позбуваються сміття шляхом його спалення або ж підпалюють суху траву у лісі, що дуже часто призводить до критичних наслідків.

Багато країн вже намагаються шукати ефективні рішення проблеми займання лісових масивів, розроблено багато комплексів спостереження та методів моніторингу стану лісів. Дуже популярним на часі є відео спостереження та літаючі дрони. Проте сучасні рішення далекі від ідеалу, або занадто дорогі, бо потребують кваліфікованих спеціалістів, чи дуже дорогу техніку, що призводить до малого розповсюдження таких систем та, в результаті, призводить до зниження ефективності моніторингу за лісовими насадженнями.

Розвиток систем, що можуть ефективно, стабільно та економічно вигідно проводити моніторинг лісових масивів є однією з найбільш перспективних технологій в галузі систем спостереження та попередження пожеж на великих площах. Суттєвою перевагою цієї технології є простота та дешевизна установки та надійність експлуатації. Безумовно, при використанні бездротової системи, необхідно організовувати захист даних, що передаються по радіоканалу, наприклад за допомогою алгоритмів шифрування.

Серед переваг систем спостереження на базі mesh-мереж та технології LPWAN – те, що вони потребують значно менше енергії, ніж, наприклад, дрони з камерами, вартість встановлення обходиться значно дешевше, ніж експлуатація дронів чи супутникової зйомки. Серед недоліків систем спостереження на базі mesh-мереж та технології LPWAN є те, що ціна системи збільшується кратно збільшенню площі ділянки, за якою треба наглядати та потреба вручну розставляти датчики по лісовому масиві.

5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Таблиця 5.1– Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Створення системи виявлення загоряння лісових масивів і раннього оповіщення на основі mesh-мереж та технології LPWAN	1. Профілактика пожеж та своєчасне оповіщення про них.	Система датчиків, що вимірюють температуру, вологість та освітлення зможуть попереджати про сприятливі умови для пожежі у лісі для кращої готовності боротьби зі стихією. Також система негайно сповістить контрольний пункт про наявність пожежі у лісовому масиві.
	2. Спостереження за кліматичними умовами в регіоні спостереження.	Датчики системи можуть використовуватись для спостереження за кліматичними умовами, змінами температури та вологості, що буде корисно для догляду за лісовими насадженнями.
	3. Організація контрольних пунктів спостереження, куди буде надходити вся інформація.	Використання пристрою концентратора та віддаленої бази дозволяє спостерігати за великими площами території не залучаючи дорогу техніку чи велику кількість людей. Це вагомо знизить витрати на спостереження та профілактику пожеж у регіоні.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В табл. 5.2. описано технологічну здійсненність ідеї проекту.

Таблиця 5.2 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Проектні роботи	Створення документації	Наявна	Доступна
2.	Схемотехнічні роботи	Проектування схеми підвищення точності і стабільності вихідної напруги, враховуючи специфіку пристрою	Наявна	Доступна
3.	Створення програмного забезпечення	Наявність відповідного апаратного та програмного забезпечення	Наявна	Доступна
4.	Тестування та верифікація	Вимірювальне обладнання, тест-інженер	Відсутня	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: можливо реалізувати ідею, за умови відшукування реального виконавця п.2–4				

5.3. Аналіз ринкового середовища

Цільова група являє собою приватні і державні лісові господарства, а також компанії, що зацікавлені в збереженні природних ресурсів лісу. На даний час, пристрій можна використовувати в регіонах з підвищеною небезпекою утворення лісових пожеж, або у місцях, де немає інфраструктури для моніторингу з допомогою підключених до інтернету та електропостачання рішень. Безумовно, виходячи з такої широкої групи потенційних споживачів, в Україні та за її межами існують фірми, які надають подібні послуги.

В табл. 5.3. представлено попередню характеристики потенційного ринку стартап проекту.

Таблиця 5.3 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	3
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	800 000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4.	Наявність обмежень для входу	Немає
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	В залежності від специфікації замовника
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	40 %
Ринок є рентабельним оскільки, кількість головних гравців мала, що у свою чергу свідчить про низьку конкуренцію та високу рентабельність		

В табл. 5.4. проаналізовано фактори загроз.

Таблиця 5.4 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Конкуренти – відомі на ринку компанії	Проведення потужної рекламної компанії
2.	Зміна стандартів виробництва	Технологія виробництва може зіткнутися із проблемою нових стандартів	Освоєння проектувальниками, інженерами нових стандартів і вирішення проблем, що з'являються
3.	Якісний	Несумісність технологій з технологічними процесами замовника	Адаптація технології виробництва або запровадження нових підходів до проектування.

Висновки: основними факторами загрози є конкуренція та зміна стандартів виробництва. Існуючі рішення вже мають певне ім'я на ринку, репутацію, споживачі. Зміна стандартів виробництва може поставити ряд нових проблем, на вирішення який потрібен час, а отже, це потенційно тимчасова втрата прибутку.

В табл. 5.5. проаналізовано фактори можливостей.

Таблиця 5.5 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Зростання попиту	Низька ціна спричиняє зацікавленість до технології	Найм нових працівників, збільшення обсягів виробництва.
2.	Участь у виставках	Можливість демонстрації технології потенційним клієнтам	Відправляти спеціалістів на виставки
3.	Кооперація із лідерами ринку	Конкуренти запропонували об'єднання компаній	Оцінка можливих переваг та ризиків об'єднання
4.	Індивідуальне замовлення	Можливість додавати індивідуальні потреби для клієнтів	Проведення аналізу раціональності замовлення та можливість укладання нового контракту із заданими потребами

Висновки: сфера виробництва систем спостереження за лісовими пожежами залишається завжди в попиті. Із збільшенням у світі пожеж попит на системи моніторингу лише зростає, а отже, потрібно закладати у виробництво потенційні можливості збільшення об'ємів виробництва.

В табл. 5.6. наведено результати ступеневого аналізу конкуренції на ринку.

Таблиця 5.6 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції: чиста	Мала кількість гравців на ринку	Покращувати технологію, збільшуючи її надійність
За рівнем конкурентної боротьби: міжнародний	Конкуренти та замовник знаходяться в інших державах	Вихід на міжнародний ринок
За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Конкуренти працюють в одній галузі	Слідкувати за інноваціями конкурентів
Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Конкуренти пропонують технологію, що задовольняють одну і ту ж потребу	Покращення якості продукції

За характером конкурентних переваг: нецінова	Основними характеристиками є якість та надійність	Покращувати технологію
За інтенсивністю: не марочна	Роль бренду не має значення	Відсутня потреба у рекламі марки

Висновки: ринок є конкурентним, проте вид конкуренції є чистим, так як окремі гравці мало впливають на ціну товару. Конкурентний ринок є міжнародним та внутрішньогалузевим. Конкуренція за видами товарів – видова.

В табл. 5.7. наведено аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Таблиця 5.7 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	«ДіСіКон» Супутниковий моніторинг Forest Fire Detection	Науково-дослідні роботи; інтелектуальна власність;	Постачальники ПЗ є незаміними	Контроль якості	Нові технологічні процеси
Висновки:	Середня інтенсивність конкурентної боротьби	Є можливості для входу. Є конкуренти.	Постачальники ПЗ не диктують умови роботи	Клієнтам необхідне підвищення надійності	Відсутні обмеження

Існує можливість для виходу на ринок за даної конкуренції. Для цього потрібно забезпечити високу якість та надійність технології і проводити дослідні роботи для покращення конкурентної ситуації.

В табл. 5.8. приведено обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.8 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Собівартість	Низька собівартість – більша доступність кінцевого пристрою
2.	Надійність	Більша надійність ніж у конкурентів
3.	Адаптивність	Запропонований підхід може бути реалізований з різними технологічними процесами

5.4. Аналіз стратегій розвитку

В табл. 5.9. наведено вибір цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.9 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1.	Приватні лісові господарства	+	високий	середня	середня
2.	Державні лісові господарства	+	середній	низька	низька

В результаті обидві групи клієнтів вибрані як цільові групи. На основі обраних груп клієнтів визначаємо стратегію диференційованого маркетингу.

В табл. 5.10. зображено процедуру визначення базової стратегії розвитку.

Таблиця 5.10 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто- спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Робота з індивідуальними вимогами замовника	Диференційований маркетинг	Своєчасне задоволення індивідуальних вимог замовника	Стратегія диференціації

В табл. 5.11. зображено процедуру визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 5.11 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходьцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Шукати нових та забирати існуючих	Не буде	Виклик лідера

Висновки: оскільки на ринку вже є проекти-конкуренти, компанія може обрати стратегію виклику лідера, так як проект має переваги. Також можлива спільна робота з конкурентами для досягнення кращого успіху, адже система є новою та ще тільки вивчається та досліджується. Можливість об'єднати зусилля дає змогу в майбутньому краще засвоїти це направлення та створювати кращі системи спостереження.

В табл. 5.12. зображено процедуру визначення стратегії позиціонування.

Таблиця 5.12 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто- спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
1.	Довготривалі ефективність та надійність	Стратегія диференціації	Задоволення індивідуальних вимог замовника за ціною нижчою, ніж у конкурентів	Індивідуальний підхід, надійність

5.5. Области застосування результатів та очікуваний ефект

В табл. 5.13. описано три рівнів моделі товару.

Таблиця 5.13 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні послуги	Сутність та складові		
1. Товар за задумом	Технологія моніторингу лісових масивів на наявність пожеж та сприятливих для них умов		
2. Товар у реальному виконанні	Властивості/ характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Енергоефективність	М	Тх
	2. Надійність	М	Тх
	3. Адаптивність	М	Тх
	Якість: відповідно до ISO 26262		
	Пакування: файли з інформацією, технічна документація		
	Марка: «VoltRef»		
3. Товар із підкріпленням	Сертифікат відповідності		
	Сервісне обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: товар захищатиметься шляхом його патентування			

Висновки: шляхом патентування товару створюється захист від його копіювання. Також закладені характеристики на другому рівні товару роблять його досить унікальним та конкурентоспроможним.

В табл. 5.14. представлено формування системи збуту.

Таблиця 5.14 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Продаж	Реалізація технологічного рішення в технологічному процесі замовника за узгодженою специфікацією	Нульового рівня	Безпосередній (прямий)

Висновки: основним каналом збуту є продаж товару. На старті компанії очікуються відносно невеликі об'єми виробництва, тому на даному етапі можливо обійтись без посередників і продавати товар напряму клієнтам. Саме тому було обрано нульовий рівень глибини каналу збуту та пряму систему збуту.

В табл. 5.15. запропоновано концепцію маркетингових комунікацій.

Таблиця 5.15 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Шукають нові рішення, які можуть довгий час залишатися актуальними	Конференції, міжнародні виставки і презентації, через особистих спеціалістів	Надійність, точність, стабільність	Показати можливості запропованої системи	Демонстрація результатів використання системи

Висновки: маркетингова кампанія відбувається за рахунок соціальних контактів, а саме конференцій, виставок, презентацій. Метою даних оголошень є донести усі перспективи та можливості даної системи для користувача.

Висновок

Запропоноване рішення дозволяє розмістити на території, що потребує моніторингу, групу датчиків, які дозволяють виявляти факт наявності пожежі і визначати його характеристики. Розробка таких систем в загальному випадку спрямована на зменшення впливу людського фактору на процес моніторингу лісу, а також підвищення точності і швидкості виявлення лісових пожеж. Фактично, автоматизація передбачає перекладання на «інтелектуальну машину» деяких функцій людини. Основне призначення автоматизованої системи - збільшення кількості точок моніторингу при незмінній кількості операторів. Очевидно, це повинно приводити до того, що системі буде довірятися виконання все більшого числа завдань.

Ринок потребує нових рішень моніторингу стану лісових масивів, це доводять компанії, що вже знаходяться на ринку та пропонують свої рішення. Проте вони не досконалі і даний стартап може закрити недоліки систем, що вже

представлені на ринку. Наприклад, система на базі mesh-мереж вирішує задачу недоступності на великій площі інтернет зв'язку для стабільної передачі даних, а технологія LPWAN, в свою чергу, вирішує проблему недоступності стабільних каналів живлення пристроїв спостереження за температурою, вологістю та освітленням

З огляду на ситуацію з пожежами у світі в останні роки, в цій сфері прогнозується зростання попиту. Отже, можна зробити висновок, що, незважаючи на наявність на ринку готових рішень, моя розробка може бути ринково успішною, перш за все, через те, що вона не потребує інтернет зв'язку, стабільного живлення, а отже більш проста в установленні, енергоефективна та економічно більш вигідна, а також через передбачуване зростання попиту.

ВИСНОВОК

У роботі було досліджено проблему пожеж в лісових масивах та методи їх профілактики та спостереження за ними. Основна увага приділяється ранньому виявленню лісових пожеж з метою зменшення пошкодженої ділянки до мінімуму. Адже великі лісові пожежі високої інтенсивності практично не піддаються контролю. Дослідження ряду пожежонебезпечних регіонів світу, зокрема Південна, Північна Америка, Євразія, Австралійський континент виявили, що знищення, спричинене пожежами там, значно зросло за останні два десятиліття. Наприклад, у США, в 72 400 лісових пожеж було знищено в середньому 7 мільйонів гектарів продуктивних земель. Таким чином, щороку, починаючи з 2000 року, площа вигорання тут вдвічі перевищує площу лісів, випалених лісовими пожежами в 1990-х роках. У 2015 році найбільший сезон лісових пожеж, зафіксований в історії США, спалив понад 10 мільйонів гектарів землі. Аналогічна ситуація спостерігається і в інших регіонах земної кулі. Все це обґрунтовує висновок про актуальність обраної теми дисертаційної роботи.

Було проведено дослідження технології LPWAN та mesh-мережі. З роботи можна винести наступні переваги LPWAN:

- Велика дальність передачі сигналу у порівнянні з іншими бездротовими технологіями використовуваними для телеметрії GPRS або ZigBee, досягає 10-15 км.
- Низький рівень споживання енергії у кінцевих пристроїв, завдяки мінімальним витратам енергії на передачу невеликого пакета даних.
- Висока проникаюча здатність радіосигналу в міській забудові при використанні частот суб-гігагерцового діапазону.
- Висока масштабованість мережі на великих територіях.
- Відсутність необхідності отримання частотного дозволу та плати за радіочастотний спектр, внаслідок використання неліцензійних частот (ISM band)
- Було розроблено систему спостереження, моніторингу та оповіщення про виникнення пожеж у лісових масивах.

Під час виконання дослідження отримано наступні наукові та практичні результати:

1. Здійснено первинну класифікацію причин займання лісових масивів та вплив полум'я на вимірювані характеристики температури, вологості та освітлення
2. Проведено огляд інформації про лісових пожеж у світі, спричинених руйнувань та завданих збитків різним державам у різних кліматичних зонах на прикладі пожеж у США та Австралії
3. Досліджено системи виявлення пожеж, що вже існують на ринку та проведено аналіз світових рішень по боротьбі з пожежами
4. Проведено патентний пошук відносно існуючих рішень передачі даних, з отриманих даних встановлено, що доцільно використовувати технологію LPWAN
5. Проаналізовано позитиви та основні системні недоліки рішень, що вже існують на ринку та виявлено критичні недоліки цих систем
6. Досліджено побудову mesh-мережі та запропоновано топологію мережі на їх основі для вирішення задачі моніторингу великих площ території без доступу до інтернету та енергомережі
7. Проведено дослідження технології LPWAN та порівняльну характеристику з іншими методами передачі даних, після якого було встановлено, що технологія LPWAN найкраще підходить для вирішення поставленої задачі
8. Розроблено архітектуру системи моніторингу за лісовими масивами та на основі неї створено репрезентативний приклад реалізації сенсору температури, вологості і освітлення на базі мікроконтролера CC1352R1 та доступних сенсорів для спостереження за станом навколишнього середовища
9. Розроблено та проаналізовано стартап-проект, який встановив доцільність комерціалізації проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бездротова мережа LoRaWAN [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://lora-alliance.org/>.
2. What is the LoRaWAN® Specification? [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://lora-alliance.org/about-lorawan>.
3. Ковалев И. NB-IoT против LTE-M (4G), 5G. Каким будет "Интернет Вещей"? [Електронний ресурс] / Иван Ковалев. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://itkvariat.com/o-raznom/886-nb-iot-protiv-lte-m-4g-5g-kakim-budet-internet-veschey.html>.
4. Гаевский С. . Чипсеты SX127x с радиоканалом LoRa: архитектура, управление и применение в системах связи / С. Гаевский. // CHIP NEWS Украина. – 2017. – №3.
5. Zurich. IBM-LMIC: LoRaWAN MAC on embedded systems [Електронний ресурс] / Zurich // IBM. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/mcci-catena/ibm-lmic>.
6. Orange Pi One: Debian XFCE [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://piboard.io/topic/6/операционные-системыдля-orange-pi>.
7. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
8. Беспроводной трансивер LoRa Ra-02 на чипе SX1278 (410-525 МГц) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mini-tech.com.ua/lora-ra-02>.
10. Petr Gotthard. Compact server for private LoRaWAN networks [Електронний ресурс] / Petr Gotthard // MIT License. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/gotthardp/lorawan-server>.
11. Датчик температуры Dallas DS18B20 (18B20) цифровой [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-temperature-ds18b20>.
12. Bit-Error-Rate Performance Analysis of an Overlap-based CSS System / Yoon T., D.Chong, S.Ahn, S.Yoon. // World Academy of Science, Engineering and
13. IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks [Електронний ресурс] // IEEE Computer Society. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html.

14. ISO/IEC 26907:2009 Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — High-rate ultra-wideband PHY and MAC standard [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iso.org/ru/standard/53426.html>.
15. Кулик В. А. Методы комплексного тестирования Интернет Вещей / Кулик В. А., Выборнова А. И. // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь. – 2016. – С. 305–312.
16. Моделирование системы NB-IOT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.unitest.com/>
17. Alexandru Lavric. LoRa (Long-Range) High-Density Sensors for Internet of Things / Alexandru Lavric. // Journal of Sensors. – 2019. **DOI:** <https://doi.org/10.1155/2019/3502987>
18. Ключові технології, використовувані при розробці [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: http://ni.biz.ua/13/13_9/13_98575_klyuchevie-tehnologii-ispolzovanie-pri-razrabotke.html.
19. СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://library.ukrpatent.org/document?fund=1&id=27736&to_fund=2.
20. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ІНФРАСТРУКТУРОЮ БУДИНКУ «РОЗУМНИЙ ДІМ» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://library.ukrpatent.org/document?fund=2&id=188264&to_fund=2.
21. Універсальний автономний бездротовий вимірювач- комутатор контролерів і датчиків з цифровими та аналоговими виходами [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=5f634989f31d3ea6e844e07abda00475>.
22. System and method for aggregation, archiving and compression of internet of things wireless sensor data / Система та спосіб компресії, агрегації та архівування даних Інтернету речей, що надходять від датчиків [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=%2Fnetacgi%2FPTO%2Fsearch-adv.htm&r=3&p=1&f=G&l=50&d=PTXT&S1=lorawan&OS=lorawan&RS=lorawan>.

Додаток А

```
#include <xdc/runtime/Error.h>
#include <ti/sysbios/knl/Clock.h>
#include <ti/drivers/Power.h>
#include <ti/drivers/power/PowerCC26XX.h>
#include <ti/sysbios/BIOS.h>
#include <icall.h>
#include "hal_assert.h"
#include "bcomdef.h"
#include "simple_peripheral.h"

/* Header files required to enable instruction fetch cache */
#include <inc/hw_memmap.h>
#include <driverlib/vims.h>

#ifndef USE_DEFAULT_USER_CFG
#include "ble_user_config.h"
// BLE user defined configuration
icall_userCfg_t user0Cfg = BLE_USER_CFG;
#endif // USE_DEFAULT_USER_CFG

/* Wsn Application Header files */
#include "wsn_node/NodeRadioTask.h"
#include "wsn_node/NodeTask.h"

/* Include DMM module */
#include <dmm/dmm_scheduler.h>
#include "ti_dmm_application_policy.h"
#include <dmm/dmm_priority_ble_wsn.h>
#include "xUart.h"
```

```

* EXTERNS

*/

extern void AssertHandler(uint8 assertCause, uint8 assertSubcause);

int main()
{
    Task_Handle* pBleTaskHndl;
    Task_Handle* pWsnTaskHndl;
    DMMPolicy_Params dmmPolicyParams;
    DMMSch_Params dmmSchedulerParams;

    /* Register Application callback to trap asserts raised in the Stack */
    RegisterAssertCback(AssertHandler);

    Board_initGeneral();

    // Enable iCache prefetching
    VIMSConfigure(VIMS_BASE, TRUE, TRUE);
    // Enable cache
    VIMSModeSet(VIMS_BASE, VIMS_MODE_ENABLED);

    /* Update User Configuration of the stack */
    user0Cfg.appServiceInfo->timerTickPeriod = Clock_tickPeriod;
    user0Cfg.appServiceInfo->timerMaxMillisecond = ICall_getMaxMSecs();

    /* Initialize ICall module */
    ICall_init();

    /* Start tasks of external images */
    ICall_createRemoteTasks();

```

```

pBleTaskHndl = ICall_getRemoteTaskHandle(0);

SimplePeripheral_createTask();

/* Initialize wsn sensor node tasks */
pWsnTaskHndl = NodeRadioTask_init();

/* initialize and open the DMM policy manager */
DMMPolicy_init();
DMMPolicy_Params_init(&dmmPolicyParams);
dmmPolicyParams.numPolicyTableEntries = DMMPolicy_ApplicationPolicySize;
dmmPolicyParams.policyTable = DMMPolicy_ApplicationPolicyTable;
dmmPolicyParams.globalPriorityTable = globalPriorityTable_bleLwsnH;
DMMPolicy_open(&dmmPolicyParams);

/* initialize and open the DMM scheduler */
DMMSch_init();
DMMSch_Params_init(&dmmSchedulerParams);
//Copy stack roles and index table
memcpy(dmmSchedulerParams.stackRoles,
DMMPolicy_ApplicationPolicyTable.stackRole,  sizeof(DMMPolicy_StackRole) *
DMMPOLICY_NUM_STACKS);
dmmSchedulerParams.indexTable =
DMMPolicy_ApplicationPolicyTable.indexTable;
DMMSch_open(&dmmSchedulerParams);

/* register clients with DMM scheduler */
DMMSch_registerClient(pBleTaskHndl, DMMPolicy_StackRole_BlePeripheral);
DMMSch_registerClient(pWsnTaskHndl, DMMPolicy_StackRole_WsnNode);

```

```

/*set the stacks in default states */
DMMPolicy_updateStackState(DMMPolicy_StackRole_BlePeripheral,
DMMPOLICY_BLE_ADV);
DMMPolicy_updateStackState(DMMPolicy_StackRole_WsnNode,
DMMPOLICY_WSN_SLEEPING);

xUartInit(115200);

/* enable interrupts and start SYS/BIOS */
BIOS_start();

return 0;
}
xdc_Void Main_excHandler(UInt *excStack, UInt lr)
{
#if defined(RESET_ASSERT)
    Ssf_assertInd(MAIN_ASSERT_HWI_TIRTOS);

    /* Pull the plug and start over */
    SysCtrlSystemReset();
#else
    //spin here
    while(1);
#endif
}

void AssertHandler(uint8 assertCause, uint8 assertSubcause)
{
    // check the assert cause
    switch (assertCause)
    {

```

```
case HAL_ASSERT_CAUSE_OUT_OF_MEMORY:
```

```
    ///CUI_assert("***ERROR*** >> OUT OF MEMORY!", false);
```

```
    break;
```

```
case HAL_ASSERT_CAUSE_INTERNAL_ERROR:
```

```
    // check the subcause
```

```
    if (assertSubcause == HAL_ASSERT_SUBCAUSE_FW_INTERNAL_ERROR)
```

```
    {
```

```
        ///CUI_assert("***ERROR*** >> INTERNAL FW ERROR!", false);
```

```
    }
```

```
    else
```

```
    {
```

```
        ///CUI_assert("***ERROR*** >> INTERNAL ERROR!", false);
```

```
    }
```

```
    break;
```

```
case HAL_ASSERT_CAUSE_ICALL_ABORT:
```

```
    ///CUI_assert("***ERROR*** >> ICALL ABORT!", true);
```

```
    break;
```

```
case HAL_ASSERT_CAUSE_ICALL_TIMEOUT:
```

```
    ///CUI_assert("***ERROR*** >> ICALL TIMEOUT!", true);
```

```
    break;
```

```
case HAL_ASSERT_CAUSE_WRONG_API_CALL:
```

```
    ///CUI_assert("***ERROR*** >> WRONG API CALL!", true);
```

```
    break;
```

```
default:
```

```
    ///CUI_assert("***ERROR*** >> DEFAULT SPINLOCK!", true);  
    break;  
}  
  
return;  
}  
void smallErrorHook(Error_Block *eb)  
{  
    for (;;) ;  
}
```